



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA**

**DISEÑO DE “PIN-HOMBRO” DEL PROCESO FSW  
PARA MEJORAR JUNTAS SOLDADAS DE  
ALEACIONES DE ALUMINIO EN “FUNDICION  
CHEPEN” – CHICLAYO - 2017**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AUTOR:**

**RICO MORALES EDMUNDO ENRIQUE**

**ASESOR:**

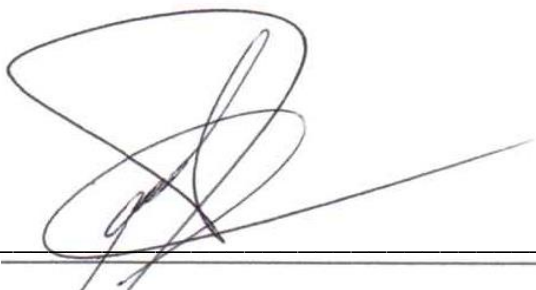
**ING. RAMOS MARTINEZ LUIS ALBERTO**

**LINEA DE INVESTIGACION:**

**MODELAMIENTO Y SIMULACION DE SISTEMAS ELECTROMECHANICOS**

**PERÚ 2017**

## PAGINA DEL JURADO

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized 'F' and 'D' that are interconnected. The signature is written above a horizontal line.

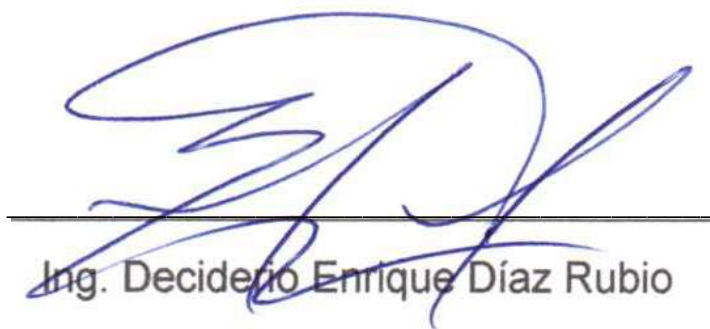
ING. FREDY, DAVILA HURTADO

PRESIDENTE

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'J' and 'S' that are interconnected. The signature is written above a horizontal line.

ING. MSC. JAMES SKINER, CELADA PADILLA

SECRETARIO

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized 'D' and 'R' that are interconnected. The signature is written above a horizontal line.

Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio

VOCAL

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada en primer lugar a DIOS, por darnos el aliento de vida, y cubrirnos con su manto sagrado para protegernos de todo lo malo y así lograr nuestro ansiado galardón que es la obtención de nuestro título profesional.

También se la dedico a la persona que me dio todo y me trajo al mundo, que es mi MADRE: **JUANA MORALES SIGUEÑAS**, a la que le debo todo lo que soy.

Edmundo Rico

## AGRADECIMIENTO

A mi familia, por apoyarme en todo momento, dándome aliento para no desfallecer en mi meta que es culminar mi carrera profesional.

A mi tío: **JUAN BALTAZAR VALVERDE SIGUEÑAS**, por aportar con sus consejos.

A mi esposa **GLADYS**, por estar a mi lado en cada momento de mi vida, por darme tres hermosos hijos que son mi fuente de inspiración.

A mis profesores, por impartirnos los conocimientos y brindarnos sus experiencias en el inicio, durante y termino de mi formación profesional, y siguiendo sus consejos los seguiré desarrollando y cultivando el tiempo que me quede de vida.

A las personas que han sido parte de mi desarrollo como trabajador en empresas, ya sean dueños o trabajadores como yo, aportando con sus experiencias en algunos trabajos, son tantas las personas que han aportado que no los acabaría de mencionar.

Edmundo Rico

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, **EDMUNDO ENRIQUE RICO MORALES**, con DNI N° 17438454, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, diciembre del 2017



EDMUNDO ENRIQUE RICO MORALES

DNI. N°17438454

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presentamos ante ustedes la Tesis:

**DISEÑO DE “PIN-HOMBRO” DEL PROCESO FSW PARA MEJORAR JUNTAS SOLDADAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO EN “FUNDICION CHEPEN” – CHICLAYO - 2017**

la misma que sometemos a vuestra consideración y esperamos que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Edmundo Enrique Rico Morales

## INDICE

PAGINA DEL JURADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
INDICE.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Realidad Problemática.....	11
1.1.1 Nivel internacional.....	11
1.1.2 Nivel Nacional.....	12
1.1.3 Nivel Local .....	12
1.2 Trabajos Previos .....	13
1.3 Teorías relacionadas al Tema.....	15
1.3.1.-El aluminio y sus aleaciones.-.....	15
1.3.2- La Fresadora .....	18
1.3.3.- Diseño de herramientas (Sistema Pin Hombro) .....	21
1.3.4 - Soldadura por arco eléctrico(SMAW). – .....	26
1.3.5.- Soldadura por fricción – agitación .....	30
1.3.6.- Optimización del modelo .....	32
1.4 Formulación del Problema .....	40
1.5 Justificación del Estudio.....	40
1.5.1.- Justificación técnica .....	40
1.5.2. Justificación ambiental .....	41
1.5.3. - Justificación económica .....	41
1.5.4. Justificación social .....	41
1.6 Hipótesis.....	42
1.7 Objetivos.....	42
1.7.1 General .....	42
1.7.2 Específicos.....	42
II. METODO .....	43
2.1 Diseño de Investigación.....	43

2.2 Variables, operacionalización.....	43
2.2.2 Variable independiente.....	43
2.2.3 Variable dependiente .....	43
2.3 Población y muestra. ....	45
2.3.1 Objeto de análisis (OA).-.....	45
2.3.2 Población (N).-.....	45
2.3.3 Muestra (n).-.....	45
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, validez y confiabilidad	45
2.5 Métodos de Análisis de datos. – .....	45
2.6 Aspectos éticos.....	46
III. RESULTADOS.....	47
3.1.- Diagnosticar sobre los resultados de los procesos de soldadura que sucede en la situación actual en las juntas de aleaciones de aluminio en “fundición Chapén” – Chiclayo .....	47
3.2. - Desarrollar los cálculos del sistema pin – hombro y parámetros correspondientes del proceso FSW para la formación del cordón (rpm, avance y presión).....	50
3.3 --Implementar el sistema de soldadura y realizar las pruebas de la junta ...	58
3.4 - -Determinar la evaluación técnica económica de la propuesta .....	62
IV. DISCUSIÓN .....	64
V. CONCLUSIONES .....	72
VI. RECOMENDACIONES .....	73
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
ANEXOS.....	77



## RESUMEN

En este trabajo se transmiten todos los datos que se han logrado en base a experimentos, que se han desarrollado en forma práctica y con métodos novedosos como el de **MÉTODO DE TAGUCHI**, que es un método revolucionario con respecto a los utilizados hasta la actualidad; para encontrar los datos idóneos y necesarios en la elaboración de las juntas de aleaciones de aluminio mediante el método de fricción - agitación del proceso FSW.

Las probetas se desarrollaron en una fresadora universal, de 5kW de potencia y un factor de rendimiento de 0.8, la herramienta que se utilizó es de acero k100 con tratamiento térmico de templado, recocido y cementado; además el pin es cilíndrico recto, los datos obtenidos son: velocidad de rotación en 960 rpm, velocidad de avance 96 mm/min. y 1350 N. de fuerza de tracción.

Palabras Claves: Métodos de Taguchi, idóneos, proceso FSW, factor de rendimiento, tratamiento térmico

## **ABSTRACT**

This paper transmits all the data that have been achieved based on experiments, which have been developed in a practical way and with novel methods such as the method of TAGUCHI, which is a revolutionary method with respect to those used until today , the traditional bone; To find the ideal and necessary data in the elaboration of the aluminium alloy joints by means of the friction-agitation method of the FSW process. The specimens were developed in a universal milling machine, of 5kw of power and a performance factor of 0.8, the tool that is used is of k100 steel with heat treatment of tempering, annealing and cementing; In addition the pin is cylindrical straight, the data obtained are: speed of rotation at 900 rpm, speed of advance 96 mm/min. 1350 N. tensile strength.

Key words: Taguchi method, ideal, FSW process, yield factor, heat treatment

## **I. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Realidad Problemática.**

#### **1.1.1 Nivel internacional**

Realizar estudios respecto de este proceso, el herramental necesario y su procedimiento, permite abrir posibilidades tendientes a aperturar nuevos puestos de trabajo mediante la reconversión y/o capacitación complementaria de Técnicos e Ingenieros, respecto de los ya conocidos métodos de juntas de soldadura. Asimismo, mejora la calidad de los trabajos realizados. Es, además, una técnica que permite su realización sin necesidad de adquirir equipamiento complicado y costoso, agregando valor y rentabilidad a las máquinas con las que ya se cuenta en el taller mecánico (Cedeño, 2017 pp. 2-3).

[...] La aplicación de soldadura FSW (fricción – agitación), está siendo cada vez más requerida por las industrias automotriz, naval y aeronáutica. No se ha logrado aún su desarrollo al nivel esperado, pero se siguen investigando las mejores condiciones para la realización de soldaduras que sean capaces de soportar altas solicitaciones a cargas en materiales como acero, aleaciones de cobre, titanio y níquel. Ello debido a que las extremas condiciones de temperatura, esfuerzos mecánicos y excesivo desgaste, hace que las herramientas necesarias para ejecutar el proceso se desgasten muy rápidamente (Cardona, 2014, p. 7).

[...] En la institución donde realizó el estudio, no se tiene conocimiento del proceso. Por ello, se recomienda el proyecto y elaboración de una placa de aluminio que sirva de soporte, así como el herramental necesario para ejecutar soldadura por fricción – agitación en una fresadora. Las especificaciones de diseño tomarán como parámetros iniciales el espesor de la placa, la velocidad de avance, así como la rotación de la herramienta de corte, recomendadas por algunos autores. Por otro lado, será necesario diseñar la placa que soportará y servirá también como fijación de las chapas que se soldarán; a su vez, evitará que la herramienta penetre excesivamente los espesores de la chapa a soldar, sirviendo también como protección de la mesa transversal de la fresadora (Cardona, 2014, p. 7).

[...] En algunos países de Sudamérica, como Colombia, Brasil y Argentina; así como en Estados Unidos e Inglaterra, que utilizan uniones soldadas como proceso significativo de su producción industrial, existen una variedad de aleaciones de aluminio que son consideradas no soldables; ello los ha obligado a adoptar el “Friction Stir Welding o FSW, por lo que es un método nuevo, ejecutado en una condición densa y que no tiene necesidad de generarle un ambiente de protección y tampoco hay necesidad de aporte de material para que se produzca la unión (Toapanta, 2015, p. 1-2).

No se han llevado a cabo trabajos de investigación sobre este innovador método de soldadura, en Ecuador. Ello da una importancia relevante a la ejecución del estudio, buscando demostrar que las uniones de aluminio soldadas por este método han mejorado las propiedades mecánicas de la unión soldada (Toapanta, 2015, p. 2).

### **1.1.2 Nivel Nacional**

[...] En el Perú, la investigación de los parámetros determinantes en el proceso de soldadura en mención, tales como: velocidades de avance y de rotación, carga o presión soportada, forma y dimensiones del pin, tamaño y penetración de la unión soldada, así como de las características mecánicas resultantes de juntas de aleaciones de aluminio, es escasa. Los mayores esfuerzos se han concentrado en aplicaciones novedosas del FSW, para elementos estructurales usados en los transportes por vía aérea, marina y terrestre, también en los deportes de competencia, con vistas a mejorar la resistencia específica y economizar el consumo de combustible, mejorar el rendimiento y ser más amigables con el medio ambiente (Vega y Quiroz, 2015, p. 90).

### **1.1.3 Nivel Local**

En la empresa Fundición Chepen SAC, se encuentra localizada en la carretera panamericana norte km 777, dedicada a la elaboración y restauración de partes para molinos de arroz. Además, se dedica a la construcción de secadoras de arroz, añejadoras de arroz y otras máquinas agroindustriales, logrando obtener en todas

sus variedades de materiales, como en fierro dulce, hierro fundido, aluminio, bronce y otros.

Por la gran cantidad de aleaciones de aluminio que existen a la fecha y al soldar las diversas piezas de la misma aleación con los métodos tradicionales como el de arco eléctrico, otorgando un acabado con deficiencias, es donde las instituciones que desarrollan estas actividades, tiene que encontrar opciones que le faciliten y le den un proceso confiable cuando se armen las estructuras.

Esta empresa de larga trascendencia está posicionada en el mercado de la agroindustria y teniendo tanta responsabilidad es que decide acoger el sistema pin hombro del proceso FSW para poder desarrollar una mejora en sus procesos de soldadura y brindar a sus clientes una mejor alternativa en sus acabados.

En la localidad de Chiclayo, no existe ninguna industria y/o institución que cuente con las herramientas y aplique este sistema de soldadura innovador para piezas de un mismo material y que abarataría los costos por no usar material de aporte. Tampoco se han encontrado estudios ni investigaciones realizadas a nivel local.

Usando el sistema pin hombro del proceso FSW es que realizarán las juntas en aleaciones de aluminio quedando las uniones con mejores características físicas y del punto de vista estructural quedan en las zonas afectadas por el calor en menor dimensión y sin crear un ambiente apropiado para la ejecución del soldeo.

## **1.2 Trabajos Previos**

Vega y Quiroz (2015), cuyo estudio titulado “EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE AVANCE Y ROTACIÓN PARA SOLDADURA EN ALUMINIO MEDIANTE PROCESO FSW”, reportan los resultados de ensayos en tensión en probetas de aluminio AA1050 que se soldaron a tope mediante Friction Stir Welding (FSW), usando una fresadora vertical marca ROMI U-30 con potencia de 3Hp y un pin diseñado como herramental de soldeo, usando el software SolidWorks y confeccionada en acero AISI 3115 carburizado. Aplicando la norma AWS D1.2/D1.2M:2008, se fabricaron probetas para soldarlas a tope, siendo ensayados 39 cordones de soldadura ejecutados. Se evaluaron valores de

velocidades rotacional (710 – 1000 – 1500 rpm), así como de avance (40 – 60 – 90 – 120 mm/min). Los investigadores llegaron a determinar que a medida que aumenta las velocidades de avance y rotación se incrementa la resistencia a la tracción en la unión a tope en platinas de aluminio soldadas mediante el proceso Friction Stir Welding. Se evaluó el aumento de la velocidad de soldeo y rotación se obtienen soldaduras sanas, libres de defectos y discontinuidades y se estableció los parámetros de soldadura que permita obtener soldaduras sanas que contengan un 72% de resistencia de la pieza en platinas de aluminio. Es conocido en estos métodos presentar una variabilidad en cuanto a los parámetros ya establecidos (velocidad de giro, soldadura y presión).

En su informe final de trabajo de grado “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS Y PLACA DE APOYO PARA LA REALIZACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO MEDIANTE FRICCIÓN-AGITACIÓN, Cardona (2014), cuyo objetivo es realizar y construir el herramienta necesario para el desarrollo de juntas de las aleaciones de aluminio, mediante el proceso (FSW), presenta las siguientes conclusiones: Para la elaboración de los instrumentos modulares, se elaboraron varias piezas apartadas una de la otra:: un cono morse, dos vástagos y un inserto. Estas piezas han sido confeccionadas con materiales distintos como: un AISI-SAE 4340, un AISI-SAE 1045 y un acero para herramientas H13.

De la misma forma se mostró las diversas variables que se necesitan para la elaboración de los instrumentos de soldeo, mediante el cual se excluirá el inclinar las herramientas, con respecto al eje de simetría del vástago quedando perpendicular entre el instrumento de soldeo y el material a soldar, se diseñaron como elementos disipadores de calor, un vástago liso y otro con aletas desplazadas hacia el inserto. Las piezas se armaron y probados en la máquina herramienta de marca Jafo, en lugar que se desarrollaran las juntas de aluminio. Se realizaron juntas de aluminio, pero solamente en forma de punto por fricción-agitación, corroborar cualquier forma como debe comportarse la unión realizada, ya que sea debido del instrumental del soldeo, y que en ningún momento ha

desarrollado imprevistos cuando se desarrollaron dichos soldeos en materiales que son aluminios aleados como el AA6063 y AA7075. Se ha modelado un objeto que sea útil y estético, que es una plancha de soporte, que además cuenta con unos accesorios como unas platinas las cuales son móviles de tal forma que se montan y se desmontan, debido que el material a soldar debe quedar completamente fija y en la posición correcta para la protección de la máquina herramienta.

Burgos y Svoboda (2009), realizaron una investigación titulada “ADAPTACIÓN DE UNA MÁQUINA HERRAMIENTA PARA SOLDADURA POR FRICTION STIR WELDING (FSW) DE ALUMINIO”, el propósito principal de este estudio es el acoplar una máquina herramienta como una fresadora, que tienen las siguientes características: consta de 5 HP de potencia con los cuales se ha adaptado para efectuar las juntas a tope de aluminio comercial tipo AA1050, las platinas constan de 3 mm de espesor. Se planteó el bosquejo y la realización de los elementos que servirán de fijación y la elaboración del pin-hombro. Se instrumentó la máquina para la medición de las fuerzas normales y se relevaron las velocidades de avance y rotación [...]. Se analizaron dos geometrías de herramienta: pin cilíndrico roscado y pin cuadrado, concluyendo con la posibilidad de acoplar una fresadora en las juntas de aluminio 1050 contando con grosores pequeños de 3mm, al final de las pruebas resultaron más que beneficiosos, las características mecánicas y su insuperable acabado con un mínimo margen de error en su estructura. Bajo nivel de defectos

### **1.3 Teorías relacionadas al Tema.**

#### **1.3.1.-El aluminio y sus aleaciones.-.**

**Es un elemento metálico que se encuentra en el mundo formado con otros elementos en la naturaleza.**

**Es el tercer elemento más común en el mundo.**

Se le atribuyen una densidad baja (2,7 g/), calor específico (865 – 905 J/kg K), dilatación térmica (20 – 25  $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ ), resistencia a la tracción (150 – 450 Mpa), límite elástico (100 – 300 Mpa), módulo de elasticidad (69 – 73 Gpa), resistencia a la

corrosión y es un material que se caracteriza por ser bien dúctil; se evidencia en el aluminio de es de primera obtención y sin muchos elementos aleantes, mejor dicho que no contienen casi nada de otros elementos, es por eso que se puede convertir en papel y enrollar. Temperatura de fusión (660 °C). Las características mecánicas del aluminio como la resistencia se logran por fusión con otros elementos aleantes y por forja; sin contar que estas características obtenidas merman la oposición a la corrosión. (Callister, p. 378).

Están diseñadas estas aleaciones para lograr características de mejoras en situaciones determinadas. Son producidas en forma de alambre, planchas, láminas o perfiles. Los que son forjados se denominan con 4 dígitos, el primero indica el elemento de mayor cantidad, el segundo nos da la modificación básica y los dígitos últimos reconocen una aleación determinada en las series. (Mott, 2009, p. 78).

También las que se consideran como fundidas, estas se expresan o tienen 4 dígitos de la manera XXX.X, el primer dígito el elemento de mayor jerarquía, los 2 dígitos posteriores señalan la pureza del aluminio, mientras que el último nos dan la forma del producto. (Mott, 2009, p. 79).

**Tabla Nº 1. - Tabla de designación de los aluminios fundidos**

Mott, 2009, p. 80

Grupo de aleación: Aluminio fundido	
Grupo principales aleantes	Elementos
1XXX	99 % o más aluminio
2XXX	Cobre
3XXX	Silicio, cobre, magnesio
4XXX	Silicio
5XXX	Magnesio
6XXX	<u>(Serie no utilizada )</u>
7XXX	Zinc
8XXX	Estaño
9XXX	Otros elementos



En estas tablas se entrega una información importante sobre los elementos con los que están aleados el aluminio y el número con los que están designados según normas internacionales

**Tabla Nº 2. - Tabla de designación de aluminios para forja**

Blog de aeronáutica electrónica ciencia

Aleaciones de aluminio para forja	
Aluminio puro (99% de Al)	1XXX
Aluminio cobre (Duraluminio Al-Cu)	2XXX
Aluminio -Manganeso (Al-Mn)	3XXX
Aluminio-Silicio	4XXX
Aluminio-Magnesio	5XXX
Aluminio-Magnesio-Silicio (Al-Mg-Si)	6XXX
Aluminio-Cinc (Al-Zn)	7XXX
Aluminio-Otros elementos (Al-X)	8XXX
Aluminio-Serie no usuales	9XXX

El endurecimiento viene designado en varios niveles o también denominados grados de dureza, como también se obtiene en diversos tratamientos y estos están dados en letras que vienen designadas posteriormente al código, por decir, aleación 6061 – T6

- Aleaciones (Al - Cu) tienen alta resistencia a la fractura por lo que se utiliza en partes estructurales de aviones, carrocerías de automóviles y autobuses, tanques de combustibles. El duraluminio (96%Al 4 % Cu) es una aleación muy utilizada en casas (puertas y ventanas), transporte, etc.
- Aleaciones (Al - Mn) tienen buena capacidad para ser trabajadas, son fáciles de soldar e inertes químicamente y se utilizan en tanques de almacenaje, latas para bebidas refrescantes, utensilios de cocina, cañerías, etc.

- Aleaciones (Al - Si) tienen bajos coeficientes de expansión térmica y bajos puntos de fusión por lo que se utilizan en alambres de soldadura y para piezas fundidas.
- Aleaciones (Al - Mg) tienen alta resistencia a la corrosión, buena capacidad para ser soldadas y trabajadas y se utilizan en aplicaciones marítimas, blindaje de vehículos militares, extremos de botes de bebida y para maletines
- Aleaciones (Al - Mg - Si) tienen buena resistencia al calor y buena capacidad de ser moldeados por lo que se utilizan en partes estructurales de transportes, mobiliario y componentes en arquitectura.
- Aleaciones (Al - Zn) tienen alta resistencia a las tensiones y al calor y encuentran aplicaciones en componentes de aeronaves
- Aleaciones (Al - Li) tienen muy baja densidad y son moderadamente resistentes al calor con aplicaciones aeroespaciales.
- Aleaciones (Al - Si - Cu) tienen alta resistencia a la tensión y se pueden moldear, se utilizan en componentes de motores de automóviles

### 1.3.2- La Fresadora

Fuente Propia



**FIG, 01. – Máquina herramienta en la que se desarrolla las probetas**

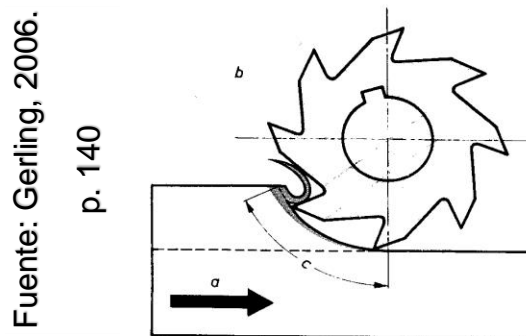
### 1.3.2.1. -Concepto

Máquina herramienta con la que se arranca viruta mediante útil circular con varios filos denominada “FRESA”. En esta maquinaria se realizan sinfines de elementos mecánicos para la industria, dependiendo de la pieza que se va a realizar, se adapta la máquina. Ya sea en forma vertical u horizontal, utilizando los demás elementos de sujeción y fijación.

- **Funcionamiento en forma vertical**

En esta posición la máquina herramienta genera un cambio de dirección de rotación a  $90^\circ$ , El movimiento empieza del husillo porta fresas a través del eje intermediario que se monta en el husillo principal.

Acá el movimiento horizontal se convierte en vertical con unos piñones cónicos, que es el mecanismo interior del aparato mecánico.



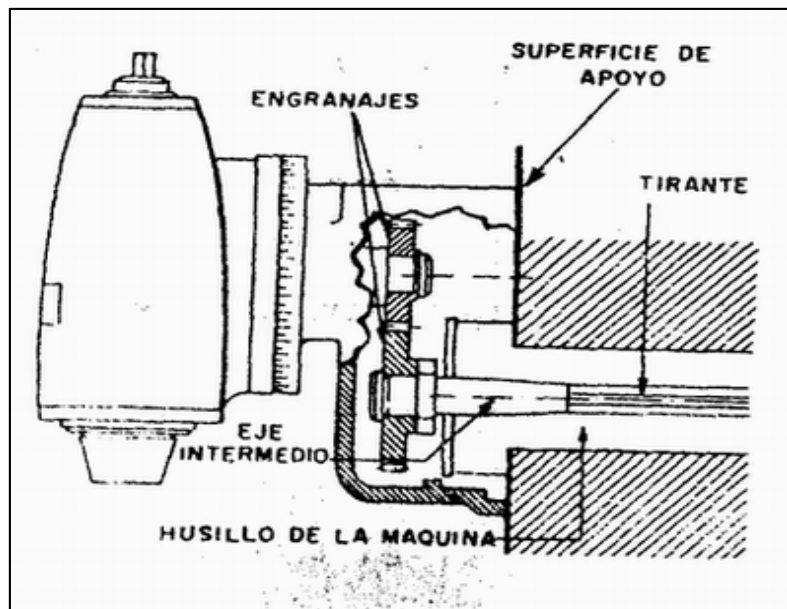
**Fig 02. - En esta imagen se muestra cómo la herramienta efectúa su trabajo, con sus respectivos movimientos principales**

### 1.3.2.3. - Procesos de montaje de un cabezal vertical en la fresadora

1. Se monta el eje intermedio entre el cabezal universal y el husillo de la máquina.

a. Limpiamos el cono del eje intermedio y el cono del husillo principal.

b.-Introducimos el eje intermediario y fíjelo con el tirante.



**Figura 03. – Componentes internos del cabezal vertical.**

#### **1.3.2.4. Cálculo del número de revoluciones y velocidad de corte.**

El número de revoluciones y la velocidad de corte son unos parámetros muy ligados entre sí, de tal manera que si uno de ellos varía (baja o sube) el otro valor también varía.

Los incrementos en la revolución por vuelta generalmente disminuyen la fuerza de soldadura requerida. La reducción de la fuerza de soldadura no es directamente proporcional a los incrementos en la velocidad de rotación (Ulysse, 2002, p. 1549).

En el fresado la velocidad de corte es la velocidad periférica o el recorrido que hace un punto de la fresa en la superficie exterior de la herramienta, se da en m/min. Si esta se da en exceso, los dientes se deterioran de forma apresurada y si se da escaso el rendimiento será bajo. (Gerling, 1984, p 153)

$$n = \frac{v \times 1000}{\pi \times d} = \text{en rpm}$$

$v$  = velocidad circunferencial en mm/min.  
 $d$  = diámetro de la herramienta. En mm.  
 $n$  = rpm de la herramienta.

#### **1.3.2.5. -Velocidad de avance. –**

$v'$  es un parámetro que se brinda en mm/min.  
Para obtener el avance total de la fresa se obtiene de diferentes maneras. Uno es multiplicando el avance por diente, el número de dientes y las revoluciones por minuto. (Gerling, 1984, p. 154).

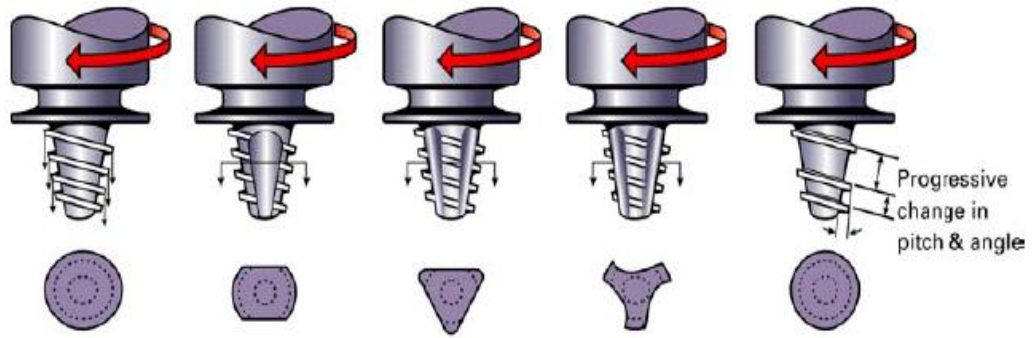
$$v' = S_v \times Z \times n = \text{mm/min.}$$

#### **1.3.3.- Diseño de herramientas (Sistema Pin Hombro)**

Optimizando la geometría de la herramienta se obtiene un efecto de "agitación" más eficaz. Sus beneficios son: mejor descomposición y mezcla de la capa de óxido, y generación de calor más efectivo consecuencia de las altas velocidades de soldeo (Friction Stir Welding – the ESAB way, s.f.p., p. 10).

“[...] Una herramienta simple en forma de pasador, sin perfil, crea calor de fricción y es muy útil si se puede aplicar suficiente fuerza hacia abajo. Desafortunadamente, las propiedades de resistencia a la rotura de la película de óxido no son muy buenas y, a medida que aumenta el grosor del material, el calor de soldadura en la parte inferior de la junta puede ser insuficiente. Con el ajuste del parámetro y la optimización de la geometría de la herramienta podría romper más eficazmente la capa de óxido. (ESAD, 2012)

Para generar más calor de fricción y romper la capa de óxido de manera efectiva, se han dirigido los esfuerzos en desarrollar herramientas para metales ligeros. Para el acero suave y el inoxidable, la selección del material de la herramienta se adicionado a la lista. La figura 4 muestra algunas herramientas estándar registradas por TWI (The Welding Institute). Triflute MX <sup>TM</sup> ha demostrado ser una herramienta multipropósito muy idóneo cuando se practica las juntas de soldadura en todas sus diferentes variedades de aleaciones de aluminio.



**Figura 04. - Se muestra ciertos perfiles de utensilios para la soldadura por fricción -agitación**

Para poder desarrollar las dimensiones de la herramienta pin – hombro he tenido que determinar las fuerzas que van a actuar sobre las piezas de aluminio a soldar tales como:

Torque. O Torsión.

Flexión

Fricción.

Esfuerzo cortante

Presión.

Esfuerzo normal máximo

**1.3.3.1. - Torque. -.** Cuando una fuerza se aplica a un cuerpo esta ocasionara a que el elemento al cual se le aplica la fuerza tienda a girar alrededor del centro que no está en línea de acción a la fuerza. Se conoce en ocasiones como par de torsión, pero con mayor frecuencia se denomina momento de una fuerza o momento. (Hibbeler, 2010, p 117-118).

$$M_o = F \times D \times \text{Sen } \theta$$

F = Fuerza aplicada.

D = Distancia del brazo o radio.

$\theta$  = Angulo que se aplica la fuerza.

$$M_o = \frac{P}{N}$$

P = Potencia a transmitir en watts.

N = Velocidad angular en rad/s

En algún vector momento que sea tangencial con el radio de un cuerpo cilíndrico de un mecanismo se denomina Vector de par torsión, por lo que el momento ocasiona que dicho elemento experimente una torsión

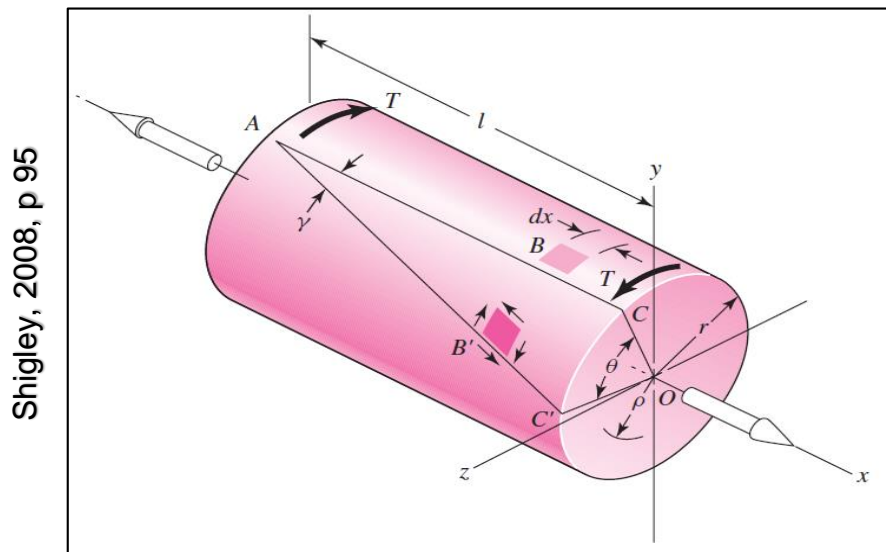
$$\theta = \frac{\tau l}{Gj}$$

donde  $\tau$  = par de torsión.

$l$  = longitud.

$G$  = módulo de rigidez.

$J$  = segundo momento polar del área



**Figura 05. – Sección transversal donde se desarrollan los esfuerzos calculados**

**Calculo del segundo momento polar del área**

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

**Calculo del módulo de rigidez**

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

**E = Este módulo para el acero de toma 210 000 N/mm<sup>2</sup>**

**Tabla Nº 3. – Tabla del módulo de rigidez**

Shigley, 2008, p.3

Material	G (Mpa)
Acero	81 000
Aluminio	26 300
Bronce	41 000
Cobre	42 500
Fundición Gris (4,5 %C)	41 000
Hierro colado	65 000
Hierro Forjado	73 000
Latón	39 200

**Tabla 04. - Tabla del módulo de Young**

Shigley, 2008, p. 987

Metal	Módulo de Young, Y. $10^{10} \text{ N/m}^2$
Cobre estirado frio	12,7
Cobre, fundición	8,2
Cobre laminado	10,8
Aluminio	6,3 – 7,0
Acero al carbono	19,5 – 20,5
Acero aleado	20,6
Acero, fundido	17,0
Cinc laminado	8,2
Latón estirado en frio	8,9 – 9,7
Latón naval laminado	9,8
Bronce de aluminio	10,3
Titanio	11,6
Níquel	20,4
Plata	8,27

**V = Coeficiente de poisson para el acero se toma 0.3**

**1.3.3.2. - Fricción.** – Es una fuerza que en el movimiento de dos superficies en contacto se opone a que se desplace con poca intensidad entre sí. Actúa tangencialmente a la superficie de los puntos de contacto y se realiza en sentido opuesto al deslizamiento posible entre ambas piezas o caras externas. Hibbeler, 2010, p 389).

$$F = \mu \times N ;$$

Donde:



F = Fuerza de fricción.

$\mu$  = Coeficiente de fricción.

N = Fuerza normal.

La fricción es:

- Estática.
- Dinámica.

**Tabla Nª 5. – Tabla de coeficientes de fricción estática y dinámica**

	$\mu_s$	$\mu_k$
Hule sobre concreto	1,0	0,8
Acero sobre acero	0,74	0,57
Aluminio sobre acero	0,61	0,47
Vidrio sobre vidrio	0,94	0,4
Cobre sobre acero	0,58	0,36

Fuente: Serway R. A. Física. Editorial Mc Graw-Hill (1992)

**1.3.3.3. - Presión.** – Es el esfuerzo que realiza una fuerza que se ejerce por un área determinada. Se habla de presión solo cuando se trata de un fluido. Mientras que si se trata de solidos es simplemente el esfuerzo normal. Su unidad son el newton por metro cuadrado. (Cengel, 2012, p 21).

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

Función de control más importante es el control de la fuerza axial (eje Z). Se garantiza una alta calidad, incluso si existen velocidades de soldadura, como la fuerza hacia abajo es el parámetro principal en la generación de fricción para ablandar el material. (Ulysse, 2002, p. 1549).

La fuerza de rozamiento que se produce entre dos superficies en contacto, cuando una presiona contra la otra se fundamentan en:

$$F = \frac{Mo}{\mu \times R} = \text{en newton.}$$

Donde:

F = Fuerza total de presión.

M<sub>o</sub> = Momento torsor.

μ = Coeficiente de fricción.

R = Radio medio en cm.

**1.3.3.4. -Flexión.** – Se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_x = \frac{32M_o}{\pi d^3}$$

Donde:

σ<sub>x</sub>: esfuerzo por flexión (N/m<sup>2</sup>).

M<sub>o</sub>: momento torsionante (N x m)

d: diámetro. (Timoshenko, 2012, p.343).

**1.3.4 - Soldadura por arco eléctrico(SMAW). –**

Fuente propia



**Figura 06. – Acabado de cordón realizado por arco eléctrico.**

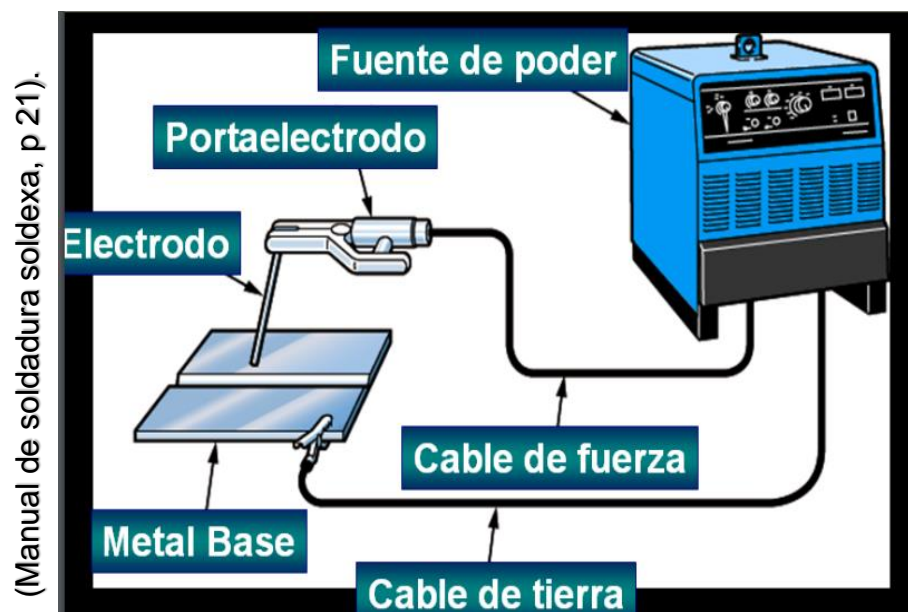
**1.3.4.1.- Concepto.** - Su energía se produce por medio del arco eléctrico producido entre las piezas de soldeo y el material de aporte. La

temperatura que se genera es mayor a  $5500^{\circ}\text{C}$ . La corriente alterna y directa se utiliza, siendo esta ultima la más recomendada ya que es constante y se obtiene un arco estable. Con C.D. las maquinas son construidas hasta 1000 A. y de 40 a 95 V. Cuando se suelda el arco es de 18 a 40 A. (Lemoine. 2008. P. 13).

Es un procedimiento de soldadura que permite la unión de dos partes para conformar una sola pieza, utilizando la energía calorífica generado por el arco voltaico que se ocasiona entre el electrodo y pieza a soldar.

La energía eléctrica genera en energía térmica. Es una determinada cantidad de flujo continuo de electrones a través de una manera gaseosa, que genera luz y calor, la maquina está conformada por:

- 1.- Generador de flujo continuo (Fuente de poder).
- 2.- Cables de soldadura (Conductor).
- 3.-Porta electrodo.
- 4.- Masa o tierra.
- 5.- Electrodo.
- 6.- Pieza de trabajo.



**Figura 07. – Maquina de arco eléctrico y sus partes.**

El arco eléctrico emite rayos visibles e invisibles, los cuales ocasionan quemaduras, ligeras lesiones a la piel y dolores temporales a los ojos si no se protegen. Cumple la ley de Ohm.

$$U = R \times I$$

- a. - **Voltaje.** – La corriente eléctrica pasa por un circuito si el flujo de electrones es impulsado, a esta se le denomina diferencial de potencia, tensión o voltaje. Se expresa en voltios y se mide con el voltímetro.
  - b. - **Amperaje.** – Es la cantidad de electrones que pasa por un conductor en un segundo. Su unidad es el Columbio y se mide con el amperímetro.
  - c. - **Resistencia.** – Es la oposición que brinda un cuerpo al paso de la corriente. Su unidad es el ohmio y se mide con el ohmímetro.
- Con el voltaje y amperaje se puede calcular la potencia eléctrica que es:

$$W = U \times I =$$

**1.3.4.2. - Clases de corriente.** - Tenemos dos:

- a. -**Corriente alterna (A.C.).** – Cuando el flujo de corriente varia de sentido. Este cambio lo realiza de 100 a 120 veces por segundo. El tiempo comprendido en cada cambio de sentido se denomina ciclo y acá es de 50 a 60 ciclos. En el Perú es de 220 voltios.
- b.--**Corriente continua (C.C.).** – El flujo de corriente conserva siempre una misma dirección.
- c. -**Polaridad.** –
  - **Polaridad directa o normal.** -Si el cable de la porta electrodo es conectado al polo negativo (-) de la fuente y el cable de tierra al positivo.
  - **Polaridad inversa o indirecta.** – Cuando el cable de la porta electrodo es conectado al polo positivo (+) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo negativo.

**1.3.4.3. -Cantidad de calor.** – Todo conductor recorrido por una corriente eléctrica se calienta.

Es el llamado efecto Joule. El calor es directamente proporcional a la resistencia, intensidad de corriente y tiempo.

De allí que:

$$Q = R \times I^2 \times t$$

Q = Energía en forma de calor y se expresa en Joule.

R = Resistencia en Ohmios.

I = Intensidad en amperios.

T = Tiempo en segundos



**Figura 08. - Características de máquina de soldar TRC – 400**

**1.3.4.4. -Efectos de la temperatura en el área de soldadura. –**

En su trabajo titulado “Microestructura y propiedades mecánicas en la zona afectada por el calor de la unión soldada de la aleación” *Maribel Amú B. y Fernando Franco A.*, llegaron a la conclusión que a una distancia de 3,5 mm se localiza el área donde la dureza es inferior con respecto a las demás zonas y esta zona es la ZAC.

Se presentó en las juntas soldadas de aluminio una falla en el ensayo de tensión que fue de característica dúctil y deformación plástica baja.

Se percibe mermas en 31,9% en la resistencia a la tensión.

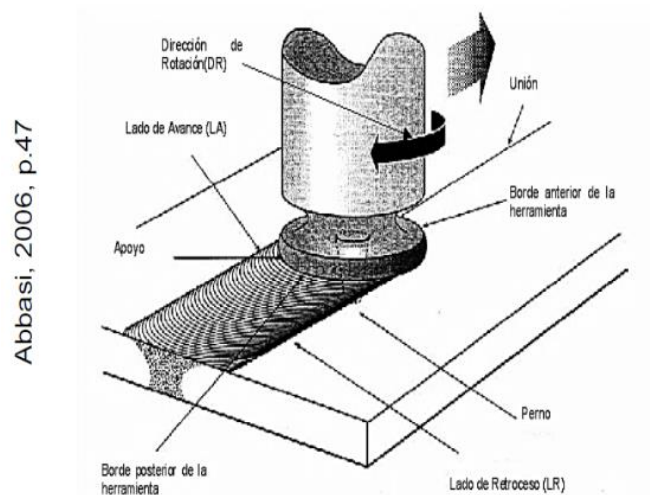
Manuel Naranjo en su blog personal “METFUSION” describe los efectos que al aumentar la temperatura de un metal o aleación disminuyen tanto su resistencia, como su vida de fatiga. Existen dos mecanismos de falla relacionados con la temperatura; (a) Termo fluencia y (b) Fatiga Térmica.

Si la carga es constante se producirá una deformación dúctil y el material terminará fallando por "termo fluencia". Por otra parte, los cambios cíclicos de temperatura favorecen la falla por fatiga térmica, cuando el material se calienta de manera no uniforme, alguna parte de la estructura se dilatarán más que otras. Esta expansión no uniforme introduce esfuerzos dentro del material y cuando la probeta se enfría y se contrae se introducen esfuerzos opuestos y como consecuencia de los esfuerzos y deformaciones inducidos térmicamente el material fallará por fatiga.

#### **-Efectos de los humos de soldadura. –**

Se considera a los gases o humos que se desprenden de las juntas soldadas, una mezcla de elementos o partículas generadas por el excesivo calentamiento de los elementos presentes al contorno del soldeo.

#### **1.3.5.- Soldadura por fricción – agitación**



**Figura 09. – Zona del proceso de soldadura por fricción agitación**

Se presenta como la gran alternativa a las juntas clásicas que dan como resultado uniones quebradizas, especialmente cuando se quiere soldar aleaciones de aluminio, tarea que se cataloga como casi imposible (Scotchmer y Chan, 2012, p. 11).

“[...] Principalmente como resultado de los problemas y retos mencionados previamente, un proceso de unión en particular ha estado recibiendo

bastante atención en las últimas dos décadas. Este proceso es la soldadura por fricción agitación (Friction Stir Welding, o FSW por sus siglas en inglés) es un proceso de unión en estado sólido que permite la unión de materiales disimilares como el magnesio a aleaciones de aluminio con la formación de menos compuestos Inter metálicos.

El Instituto de Soldadura (The Welding Institute, o TWI por sus siglas en inglés) en Inglaterra inventó la FSW principalmente para unir aleaciones de aluminio. Su principio es sencillo: una herramienta cilíndrica giratoria con hombro se alimenta en la junta a unirse y se mueve a través de la interfaz de la soldadura. El material se suaviza debido al calor producido por la fricción, la deformación plástica y la disipación viscosa, y la presión forjadora del hombro re consolida el material tras la herramienta para obtener una soldadura. [...] En un corto periodo de tiempo este proceso ha sido académicamente bien recibido y ha sido rápidamente adoptado comercialmente en industrias tales como la de construcción de barcos, rieles, aeroespacial, y la militar.

[...] El proceso convencional de FSW deja un hoyo tipo cerradura después de que se retrae la herramienta – Fig. 3A. Para evitar el problema cosmético que causa el hoyo tipo cerradura, se han desarrollado procesos de FSW con rellenado para cubrir el hoyo – Fig. 3B.

Este proceso usualmente utiliza una herramienta de soldadura de tres partes que consiste de una aguja central, la manga circundante, y un émbolo externo, los cuales todos pueden moverse de manera independiente uno de otro a velocidades variables.

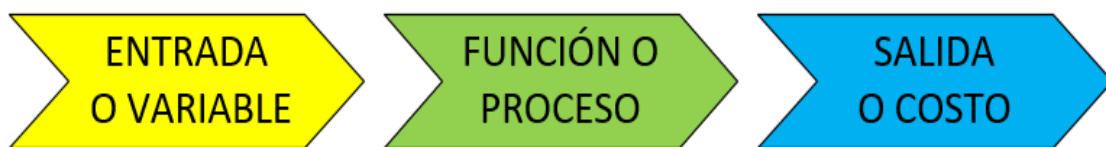
Estas partes reciprocas controlan cuidadosamente el movimiento relativo y la presión aplicada de la aguja, manga y émbolo para rellenar el hoyo de la aguja – Figs. 4, 5. Se necesitan varios segundos para rellenar el hoyo, y generalmente se mejoran las propiedades de la junta” (Scotchmer y Chan, 2012, p. 11).

Desde el punto de vista de un proceso podríamos considerar 4 etapas diferentes:

- 1º.-La inserción del hombro en el material usando una presión establecida.
- 2º.-El calentamiento del material, llega hasta que el material está en estado plástico.
- 3º.- La unión del material, con avance y rotación de la herramienta ya designado.
- 4º.-El retiro de la herramienta y la culminación del proceso.

### **1.3.6.- Optimización del modelo**

En el proceso de ajuste de las entradas o características de un dispositivo, un proceso experimental matemático para encontrar el resultado de salida mínimo o máximo se denomina optimización.



La entrada está compuesta de variables. El proceso o función se conoce como función de costo, función objetivo o función de aptitud, por lo tanto, el resultado es el costo o la aptitud. Si el proceso es un experimento, las variables son entradas físicas al experimento.

#### **1.3.6.1. Método Taguchi**

Las técnicas Taguchi fueron desarrolladas en 2012; más recientemente estas técnicas han sido extensamente utilizadas en análisis de ingeniería para optimizar las características de rendimiento en parámetros de diseño combinados. La técnica Taguchi es también una poderosa herramienta para el diseño de sistemas de muy alta calidad. Introduce un enfoque integrado, simple y sistémico, que de manera simple y eficiente encuentra el mejor conjunto de diseño para la calidad, el rendimiento y el costo computacional.



Resumiendo, el diseño de parámetros del método Taguchi, incluye los siguientes pasos:

1. Determinación de las características de calidad, las cuales deberían ser optimizadas;
2. Determinación del número de niveles para el diseño de parámetros;
3. Diseñar la matriz experimental y definir el procedimiento de análisis de datos;
4. Conducir la matriz experimental;
5. Análisis de los resultados experimentales mediante los análisis S/N y ANOVA;
6. Selección de los niveles óptimos de parámetros de diseño;
7. Predecir el rendimiento en estos niveles; y,
8. Verificación de los parámetros óptimos de diseño a través de la confirmación del experimento.

#### **1.3.6.2. Diseño del experimento**

La técnica de establecer las condiciones (diseño) de experimentos, involucra múltiples factores, primero fue propuesto por Sir R.A. Fisher en 1920, el influyó decisivamente en el campo de los DOE's. Un diseño factorial completo evalúa simultáneamente todas las combinaciones posibles para un conjunto dado de factores. Desde que la mayoría de los experimentos industriales están constituidos por un gran número de factores, un completo diseño factorial da como resultado un número significativo de experimentos. Por ejemplo, en un experimento que involucra siete factores de dos niveles, el número total de combinaciones será de 128. Como resultado, solo se seleccionará un pequeño conjunto de todas las posibilidades, para reducir el número de experimentos a un nivel práctico.

El método de seleccionar un limitado número de experimentos se conoce como un experimento factorial parcial. Aunque este método abreviado es bien conocido, no existe una pauta general para su aplicación o para el

análisis de los resultados que se obtienen al realizar los experimentos. El enfoque de Taguchi complementa estas dos debilidades importantes. Primero, define claramente un conjunto de matrices ortogonales (OA), cada una de las cuales puede usarse en muchas situaciones experimentales. Segundo, ideó un método estándar a partir del análisis de los resultados. La síntesis de las técnicas estándar de diseño experimental y los métodos de análisis en este enfoque forman consistencia y reproducibilidad, que rara vez se puede encontrar en otro método estadístico.

Es esencial comprender cómo un conjunto de factores da como resultado todas las combinaciones posibles, antes de discutir cómo Taguchi disminuye el número de experimentos. Supongamos que nos preocupa un factor A (por ejemplo, la presión). Si tuviéramos que estudiar los efectos en un producto en dos niveles (digamos 100 y 200 kPa):

$$\text{Factor A: nivel 1} = A_1 \text{ (100 kPa)} \qquad \text{nivel 2} = A_2 \text{ (200 kPa)} \dots (1)$$

Como citamos en la sección previa, con tres factores, los cuáles están a dos niveles, hay  $2^3$  (ocho) experimentos posibles. Si A, B y C representan estos factores, los ocho experimentos pueden ser expresados como:

$$A_1B_1C_1, A_1B_1C_2, A_1B_2C_1, A_1B_2C_2, A_2B_1C_1, A_2B_1C_2, A_2B_2C_1, A_2B_2C_2 \dots (2)$$

Al utilizar el principio general anterior, el número total de experimentos posibles para diferentes números de factores en dos o tres niveles y el correspondiente número sugerido de experimentos Taguchi se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla N° 06. - Tabla de comparación entre diseño factorial y  
diseño de Taguchi**

Factores	Nivel	Diseño factorial	Taguchi
2	2	$4(2^2)$	4
3	2	$8(2^3)$	4
4	2	$16(2^4)$	8
7	2	$128(2^7)$	8
11	2	$2\ 048(2^{11})$	12
4	3	$81(3^4)$	9

Considere un experimento factorial con siete factores a 2 niveles con 128 combinaciones posibles. Los factores están representados por las letras A, B, C, D, E, F, y G (ver tabla siguiente). Los subíndices 1 y 2 se refieren al valor de cada factor en el nivel 1 o 2, respectivamente. Las células T-1 a T-8 indican los 8 números de ensayo definidos por la factorial OA parcial de Taguchi para este experimento.

**Tabla N° 07. – Tabla de experimentos diseñado usando una  
matriz L8**

Nro. de prueba	Columna						
	A	B	C	D	E	F	G
T-1	1	1	1	1	1	1	1
T-2	1	1	1	2	2	2	2
T-3	1	2	2	1	1	2	2
T-4	1	2	2	2	2	1	1
T-5	2	1	2	1	2	1	2
T-6	2	1	2	2	1	2	1
T-7	2	2	1	1	2	2	1
T-8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi ha establecido OA para describir una gran cantidad de situaciones experimentales. El diseño OA se usa a menudo en experimentos de diseño con factores de múltiples niveles. La designación simbólica de estas matrices contiene la información clave sobre el tamaño del experimento. El conjunto de tablas se designa como L-8 o L8, donde el número 8 indica que se requieren 8 ensayos. El siguiente tamaño más bajo del OA es L4. Un experimento L4 requiere 4 ejecuciones de prueba.

La matriz maneja hasta 3 factores en 2 niveles cada uno. Para adaptarse a una situación con factores entre 4 y 7, todos en 2 niveles, se usará un L8. Para situaciones que demandan una mayor cantidad de factores, como niveles más altos y niveles mixtos, hay otros OA disponibles. Predominantemente, la selección de OA depende de estos elementos por orden de prioridad:

1. El número de factores e interacciones de interés;
2. El número de niveles para los factores de interés; y, la resolución experimental deseada o las limitaciones de costos

#### **1.3.6.3--Relación Señal/Ruido**

La relación Señal/Ruido (S/N), esté enfocada en la medición de las características de calidad que se desvían del valor deseado por la técnica de Taguchi.

Este enfoque también se usa en lugar del valor promedio para convertir los resultados experimentales, en valores para evaluar las características en el análisis de parámetros óptimos. La relación S/N se expresa en unidades dBi y puede ser definido como:

$$\eta = -10 * \log (M.S.D.)$$

Donde:

M.S.D. = desviación cuadrática media de las características de salida

Las características de la relación S/N pueden ser divididas en tres etapas: cuanto más pequeño, mejor; el nominal, mejor; y, cuanto más alto, mejor, cuando las características de calidad son continuas para el análisis de ingeniería.

Para cuanto más pequeño, mejor:

$$M.S.D. = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i)^2$$

Para el nominal, mejor:

$$M.S.D. = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - m)^2$$

Para cuanto más alto, mejor:

$$M.S.D. = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{y_i}\right)^2$$

donde:

$y_i$  = resultados de los experimentos, observaciones o características de calidad como longitud, peso, acabado superficial, etc.

$m$  = valor objetivo del resultado

$N$  = número de repeticiones

#### 1.3.6.4. Determinación del modelo óptimo

Como un principio general, el rendimiento óptimo se calcula usando la siguiente ecuación:

$$Y_{opt} = Y_m + \sum_{i=1}^q (Y_i + y_m)$$

Donde:

$Y_m$  = media total de todos los resultados

$Y_i$  = resultado medio en el nivel óptimo

$q$  = número de los principales parámetros de diseño que afectan significativamente las características de rendimiento

##### a. -Análisis de la varianza (ANOVA)

ANOVA es una colección de modelos estadísticos que se usa para determinar si existe una asociación estadística entre un producto y una o más entradas. Cabe señalar que ANOVA es diferente para el análisis de regresión, que es una técnica estadística utilizada para formar un modelo

predictivo; sin embargo, ANOVA es una técnica general que se puede usar para proporcionar una prueba estadística de si los promedios entre dos o más grupos son iguales o no, basándose en la suposición de que en cada grupo la media de los productos se distribuye normalmente con la misma varianza.

#### **1.3.6.5. Aplicación del Método de Taguchi en la determinación de los parámetros de soldadura por fricción batido (FSW)**

Muchos investigadores han usado ampliamente en sus experimentos las OA de Taguchi para hallar los niveles óptimos de parámetros FSW. Dichos parámetros fueron optimizados para el proceso FSW de aleaciones disímiles de aluminio (AA2024-T6 y AA6351-T6), aplicando el método de Taguchi. Los efectos de los parámetros de proceso, velocidad rotacional, velocidad de avance y fuerza axial fueron evaluados bajo resistencia a la tracción. Las condiciones de soldeo optimizadas también fueron estimadas para maximizar la resistencia a la tracción debido a la mejora de la productividad y la calidad de la soldadura. Por último, los resultados se verificaron realizando las pruebas de confirmación en las condiciones óptimas identificadas. Además, se investigó para determinar el efecto de las variables del proceso FSP, tales como la velocidad rotacional, velocidad de avance y ángulo de inclinación de la herramienta sobre la resistencia a la tracción de la aleación de magnesio AZ31.

Los experimentos se llevaron a cabo de acuerdo con el diseño paramétrico L9 de Taguchi en varias combinaciones de los parámetros de proceso. Los resultados muestran que la velocidad rotacional es el factor más importante, seguido de la velocidad de soldadura y el ángulo de inclinación del util para maximizar la resistencia a la tracción del proceso FSP en la aleación de magnesio. El efecto simultáneo de los principales parámetros de FSP se estudió en el comportamiento mecánico de una aleación de AE42 con base de magnesio. El enfoque del diseño

experimental de Taguchi fue utilizado para determinar el conjunto optimizado de parámetros del proceso FSP para el procesamiento de la aleación AE42.

Las temperaturas de enfriamiento durante el proceso FSP, la velocidad rotacional de la herramienta FSP y el número de pasadas FSP, fueron indicados como los parámetros FSP más influyentes. El DOE fue aplicado para determinar los más importantes factores que influyen sobre la resistencia a la tracción última (UTS) de los nano compuestos producidos por el proceso FSP en el aluminio AA6061/SiC. Los parámetros óptimos del proceso fueron determinados por el método de Taguchi. El enfoque de Taguchi del diseño de parámetros como una técnica estadística DOE, se utilizó para establecer los parámetros de soldadura óptimos. Los experimentos se organizaron usando la OA L9 de Taguchi.

El parámetro significativo más influyente y la contribución porcentual de cada parámetro se identificaron mediante la resistencia a la tracción de las juntas soldadas por FSW de aluminio AA7075-T6, mediante la realización del número mínimo de experimentos usando la OA de Taguchi.

La proporción S/N y el ANOVA fueron empleados para hallar la contribución de los principales parámetros que ya vamos estudiando y son los de giro, avance y la profundidad de penetración, en la resistencia a la tracción de la junta soldada. La investigación determinó que tanto el perfil de la herramienta, como su velocidad de rotación, influyen más en la resistencia a la tracción que la velocidad de avance (velocidad de soldeo) y la profundidad de penetración, y que la herramienta con perfil cónico produce una mejor eficacia conjunta que la herramienta con perfil cuadrado.

Se determinaron las condiciones óptimas de operación del proceso de FSW para dos placas de aleación de aluminio, soldadas en una unión a

tope con base gris, usando un método Taguchi. El FSW de aleación de Al-Mg estudió la optimización de los parámetros del proceso utilizando el método de Taguchi.

#### **1.4 Formulación del Problema**

¿Cómo mejorar las juntas soldadas de aleaciones de aluminio en fundición Chepén - Chiclayo?

#### **1.5 Justificación del Estudio.**

En el Perú es escasa la información y tampoco se han desarrollado muchos estudios de investigación; y más precisamente en la ciudad de Chiclayo, ni siquiera se conoce o aplica esta técnica de soldeo. Sólo en otros países se viene investigando respecto de este proceso, específicamente en los parámetros para uniones a tope aluminio – aluminio y aluminio – acero inoxidable; por soldadura fricción – agitación de aleaciones de aluminio de alta resistencia.

##### **1.5.1.- Justificación técnica**

Las soldaduras representan, dentro del entorno productivo industrial, tal vez los más importantes procesos de unión de partes, así como los más accesibles. Sin embargo, la soldabilidad de partes, piezas y elementos de aluminio, material que posee una alta conductividad térmica, se convierte en una gran dificultad para realizar uniones. Es en ese contexto que surge el “Friction Stir Welding” FSW, o soldadura por fricción – agitación), que se constituye como alternativa relevante en la soldadura del aluminio, puesto que durante su ejecución los elementos a unir se mantienen en estado sólido, lo que evita la formación de defectos propios del proceso de solidificación del metal, situación inevitable en las soldaduras por fusión. Asimismo, en las soldaduras por fusión, las propiedades mecánicas de la junta soldada no llegan a los niveles de performance que se logra con las uniones realizadas por el proceso FSW.



### **1.5.2. Justificación ambiental**

El proceso propuesto es muy amigable con el medio ambiente. Comparado con los procedimientos convencionales y muy conocidos, durante su ejecución no se necesitan generar gases de protección, con lo que las emisiones se reducen a un valor totalmente nulo. Asimismo, no es necesaria la adición de material de aporte y/o consumibles; es decir, no se generan residuos de ninguna clase al aplicarlos.

Finalmente, en los procesos convencionales, sean especiales o no, siempre es necesario recurrir a diversas formas, operaciones y/o técnicas que puedan estar asociadas o no a equipamiento adicional para limpiar la superficie trabajada. En la soldadura por fricción agitación, no se necesita realizar ningún procedimiento de limpieza superficial. Por lo tanto, ningún impacto ambiental.

### **1.5.3. - Justificación económica**

El estudio pretende implementar y documentar un proceso que ofrece soluciones para las aplicaciones del aluminio y sus aleaciones, en la industria y el comercio, cuya naturaleza y propiedades dificultan su soldabilidad, aprovechando las ventajas comparativas que ofrece versus los clásicos procesos de soldadura por fusión.

En este sentido, el ahorro es significativo, puesto que para el proceso no se hace necesaria la adquisición de máquinas y/o equipos adicionales en el taller, sino la adaptación de máquinas herramientas (específicamente la fresadora) y la provisión de las herramientas para la realización de las uniones.

### **1.5.4. Justificación social**

Dado que la oferta de servicios de soldadura y soldadores de aluminio y sus aleaciones es escasa, la sociedad se vería beneficiada a través de la posibilidad de ampliar dicha oferta al permitir que el amplio mercado de tecnólogos de máquinas herramientas adquieran una competencia profesional más sin necesidad de reconvertirse totalmente y mejorando sus

perspectivas de negocio, lo que conduce hacia una mejora de su calidad de vida.

## **1.6 Hipótesis.**

Mediante un diseño de sistema pin hombro del proceso FSW, se mejorarán las juntas soldadas de aleaciones de aluminio en “Fundición Chepén” - Chiclayo.

## **1.7 Objetivos.**

### **1.7.1 General**

Diseñar un sistema de pin hombro del proceso fsw para mejorar las juntas soldadas de aleaciones de aluminio en Fundición Chepén – Chiclayo.

### **1.7.2 Específicos**

1. Diagnosticar sobre los resultados de los procesos de soldadura que sucede en la situación actual en las juntas de aleaciones de aluminio en Fundición Chepén – Chiclayo.
2. Desarrollar los cálculos del sistema pin-hombro y parámetros correspondientes del proceso fsw para la formación del cordón (rpm, avance y presión).
3. Implementar el sistema de soldadura y realizar las pruebas de la junta.
4. Determinar la evaluación técnica económica de la propuesta.

## II. METODO

### 2.1 Diseño de Investigación.

**No experimental.** - Debido que en nuestra investigación no se pretende variar intencionalmente variables independientes por lo que se observarán los fenómenos tal y como se dan en su contexto. Esto se debe a las limitaciones explicadas sobre el costo de implantación y el tiempo prolongado de obtención de resultados.

$$M_1 = \frac{T_1 \cdot T_2}{O \cdot P \cdot ER}$$

Donde:

$M_1$  : Es la muestra que se está observando.

O : Es la observación que desarrollar en la muestra.

P : Es la propuesta de ...

$T_1$  : Es el tiempo de medición de la Observación.

$T_2$  : Es el tiempo de proyección del escenario hipotético.

ER: Son los resultados estimados.

### 2.2 Variables, operacionalización.

#### 2.2.2 Variable independiente.

Diseño del sistema pin hombro del proceso fsw

#### 2.2.3 Variable dependiente

Mejorar las Juntas de aleaciones de aluminio en Fundición Chepén – Chiclayo.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala de medición
Independiente  diseño de sistema pin-hombro del proceso fsw	Consiste en diseñar un elemento con dos cuerpos cilíndricos concéntricos, que se somete a tratamientos térmicos que le proveen elevada resistencia térmica a la fricción.	Herramienta rotante compuesta por una parte denominada hombro y otra llamada pin, cuya función es presionar y agitar el material hasta que alcance un estado plástico.	Sistema mecánico	Material de herramienta.  Geometría de la herramienta.  -Carga axial o presión aplicada (F).	Guía de observación	Razón
Dependiente:  Mejorar juntas de aleaciones de aluminio en “Fundición Chépén” - Chiclayo.	Proceso termo mecánico de soldadura en fase sólida (patentado por Welding Institute). Inicialmente se usó para soldadura de Al; hoy se usa para una gran variedad de materiales (Cu, Mg, Ti, acero, juntas disímiles, materiales compuestos, polímeros, etc.).	El hombro de la herramienta se comprime contra el material a soldar generando calor por fricción; se inserta en la junta a soldar y se desplaza a lo largo de la misma, generando agitación (transporte) y forjado en la junta, que, unida a la extrusión y a las altas velocidades de deformación, producen la soldadura de las partes.	Sistema termodinámico  Parámetros y condiciones para la realización de la junta.	Temperatura Velocidad de rotación de la herramienta ( $V_r$ ). Velocidad de avance o de soldadura ( $V_a$ ). Angulo de inclinación de la herramienta respecto a la normal de la superficie ( $\alpha$ ).	Guía de observación  -Encuesta	Razón

## **2.3 Población y muestra.**

### **2.3.1 Objeto de análisis (OA).-.**

Juntas de aleaciones de aluminio.

### **2.3.2 Población (N).-.**

La población estará conformada por todas las juntas soldadas de aluminio de la “Fundición Chepén” - Chiclayo.

### **2.3.3 Muestra (n).-.**

La muestra estará conformada por las juntas de aluminio realizadas en las probetas, aplicando procesos FSW en Fundición Chepén – Chiclayo.

## **2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, validez y confiabilidad**

<b>TECNICA</b>	<b>USO</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Encuesta.	Aplicada a soldadores de la empresa Fundición Chepén	Hoja de encuesta.
Observación.	Procesos de soldadura de aluminio en Fundición Chepén - Chiclayo.	Ficha de observación.

## **2.5 Métodos de Análisis de datos. –**

La elaboración de este proyecto implica levantar información relevante referente al tema de estudio tanto de manera autónoma (a través de la revisión de literatura científica en bibliografía tanto física como virtual), así como social (en las unidades productivas idóneas). Por tanto, se aplicará el método inductivo para procesar la data recolectada.

Asimismo, los objetivos planteados demandan enmarcarse en la observación científica para una correcta recopilación y contextualización de la información necesaria, con vistas a responder satisfactoriamente al problema propuesto.

## **2.6 Aspectos éticos.**

El desarrollo científico debe ser intrínsecamente ético. Ello basado en lo afirmado por Galán (2010), acerca de que las hipótesis y procedimientos formulados por los investigadores, conducen hacia la confirmación de una supuesta verdad. Dado que todo trabajo de investigación busca y conlleva una mejora de la calidad de vida de la sociedad en su conjunto, debe estar asociado a valores tales como la justicia, la bondad y la idoneidad. Tal es la condición deseada, por lo que el presente estudio no es exento a dicha influencia y respeta en toda su extensión la propiedad intelectual; recíprocamente, el investigador espera que, en contrapartida, sean respetados también sus derechos de autoría.

### III. RESULTADOS

#### 3.1.- Diagnosticar sobre los resultados de los procesos de soldadura que sucede en la situación actual en las juntas de aleaciones de aluminio en “fundición Chapén” – Chiclayo

La empresa “**FUNDICION CHEPEN SAC**”, dedicada en su rutina diaria a la reconstrucción y elaboración de máquinas secadoras y añejadoras de arroz, y a diferentes elementos de máquinas del sector agroindustrial.

En algunas piezas o partes de las diferentes maquinas son de material de aluminio, el mismo que es procesado en sus instalaciones.

Los procesos de soldadura con arco eléctrico que se han realizado en esta empresa “**FUNDICION CHEPEN SAC**”, presentan los siguientes pasos:

- Achaflanado de las piezas, donde se realiza la junta de soldadura, dándole aproximadamente 60º, para que sirva de espacio de ingreso al material de aporte.
- Se le da una abertura de 2,5 mm. (Según especificaciones técnicas).

**Tabla 08. – Tabla de distancias para aberturas de juntas**

<b>Espesor de las piezas en mm.</b>	<b>Diámetro del electrodo en mm.</b>	<b>Intensidad aproximada (Amperios)</b>	<b>Distancia de abertura</b>
2	2,5	60	-
2,5	2,5	70	-
3	2,5	80	1,5
4	3,25	80	2
5	3,25	90	2,5
6	3,25	100	3

Fuente: Manual de soldadura de mantenimiento, SENATI, p 288.

- El amperaje que se reguló en la máquina de soldar es de 90 A., con corriente continua y polaridad invertida.
- El electrodo es un **ALCORD 5 SI**, es el material de aporte que se utiliza en las juntas de soldadura. (En esta empresa).

Está clasificada con la norma AWS A5.3/ASME SFA-5.3

Se le encuentra como E 4043.

**Tabla 09. – Tabla de análisis químico del metal depositado en %**

Si	Fe	Al	Otros
5,0	0,3	Complemento	-

Fuente: [WWW.SOLDEXA.COM.PE](http://WWW.SOLDEXA.COM.PE)

**Tabla 10. – Tabla de las propiedades mecánicas del metal depositado**

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción (MPa) (psi)	Límite de Fluencia (MPa) (psi)
Sin tratamiento	>180 26 100	>90 13 050

Fuente: [WWW.SOLDEXA.COM.PE](http://WWW.SOLDEXA.COM.PE)

- Para evitar que se mueva ambas piezas, es que se apuntalan en los extremos, fijando las distancias y así poder desarrollar el cordón.
- En estos puntos se alcanzó 326° C en un tiempo de 2 segundos.
- Cuando se realizó el cordón, se logró una temperatura de 491° C, que oscilaba hasta 532° C, dependiendo si se detenía o seguía realizando el cordón.

**Figura 10. – Resultado de los acabados que se han realizado en una maquina eléctrica con soldadura de aluminio**

Fuente propia





Para lograr un mejor acabado, hay que realizar varias operaciones continuas que de no realizarse posteriormente se entregaría un trabajo defectuoso y de mala calidad.

Los procesos posteriores de ejecución para las juntas de aluminio que deben realizarse son:

- Molar los altos que quedan sobresalientes a la superficie.
- Luego volver a soldarlo donde han quedado hendiduras producto de la mala fusión del cordón.
- Mayor cantidad de electrodos.
- Corriente eléctrica para poder hacer funcionar la máquina de soldar.

Estando más tiempo a la exposición de gases tóxicos y la luz destellante del arco eléctrico.

En otras probetas se utilizó equipo de oxiacetilénico para precalentarlas y después soldarlas, aumentando el costo de la junta en elementos como oxígeno y acetileno.

El electrodo se emplea como material de aportación, se suministra de manera manual en forma de varilla revestida (material que protege a la varilla).

- **Diagnóstico de la soldadura por arco eléctrico**

El material fue desarrollado en las instalaciones de nuestra institución, aplicando las mejores técnicas de fundición como realizando agujeros en la parte superior para la evacuación de los gases y así evitar poros, aplicar plumbagina para evitar que se pegue la tierra refractaria con el material, el atacado no se le aplico mucha fuerza para evitar que se cristalice y estas las obtuvimos de pistones y culatas de vehículos automotores menores (Material seleccionado).

Al haber efectuado las juntas soldadas de aluminio mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico verificamos que el cordón queda con mala apariencia, de forma rugosa, que hay que pulir con amoladora para posteriormente volverlo a soldar, tapando las hendiduras ocasionadas al soldar,

también resulta desventajoso ya que el soldador tenga que estar expuesto a mayor tiempo al humo de la soldadura y al destello luminoso del cordón; y además causando mayor costo por el empleo de una cantidad adicional de electrodos.

### **3.2. - Desarrollar los cálculos del sistema pin – hombro y parámetros correspondientes del proceso FSW para la formación del cordón (rpm, avance y presión)**

Para calcular la longitud de la herramienta debemos tomar las distancias de las mesas de fresadora, distancia hasta donde sube la consola y del cabezal vertical. También se toma en cuenta los dispositivos de sujeción y tomar la precaución de que no interfiera en el paso de la herramienta cuando se realiza la junta.

**El largo calculado para la herramienta es de 6 cm.**

**Tabla 11. – Tabla de los principales parámetros que calcular, del proceso que estamos proponiendo**

Fuente Propia	Parámetros	Efectos
	Velocidad de rotación	Calor por “fricción – agitación”, rompiendo las capas de oxido.
	Angulo de inclinación	Apariencia del cordón (Adelgazamiento)
	Velocidad de soldadura	Apariencia, control del calor
	Presión	Calor y fricción

#### **3.2.2.-Diseño de la Herramienta**

##### **3.2.2.1. -Geometría de la herramienta**

Para el diseño de la herramienta, primero se estudió la geometría del cabezal portaherramientas de la fresadora y las boquillas donde debe introducirse. Dichos parámetros se usan para definir el diámetro mayor de la herramienta. La longitud mayor se calcula teniendo en cuenta también el alcance máximo de la fresadora en el eje vertical y la altura de los elementos de sujeción de las placas que se van a soldar. Se diseña tomando en consideración los grandes esfuerzos verticales, el torque durante la soldadura, la potencia, el intervalo de velocidades y las

dimensiones de la fresadora. Como parte funcional de la herramienta se ha considerado al hombro y pin roscado (figura 4), ya que debido a su acción directa se produce la presión y la temperatura necesaria para formar la junta soldada.

Los parámetros de la herramienta se diseñaron teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Con el torque  $T$  (teórico) producido por en el husillo vertical de la máquina, se puede seleccionar un diámetro de hombro ( $\varnothing h$ ), aplicando para el cálculo la siguiente relación:

$$T = P/\omega$$

Donde:

$T$  = torque ( $N \cdot m$ ),

$P$  = potencia (Vatios);

$\omega$  = velocidad angular de herramienta (rad/s).

En base a la literatura revisada, se asume que la eficiencia de la fresadora está en el orden del 80%, ello tomando en cuenta las pérdidas mecánicas. Por tanto, la potencia real será:

$$P = 5\,000 * 0,8 = 4\,000 \text{ (watts)}$$

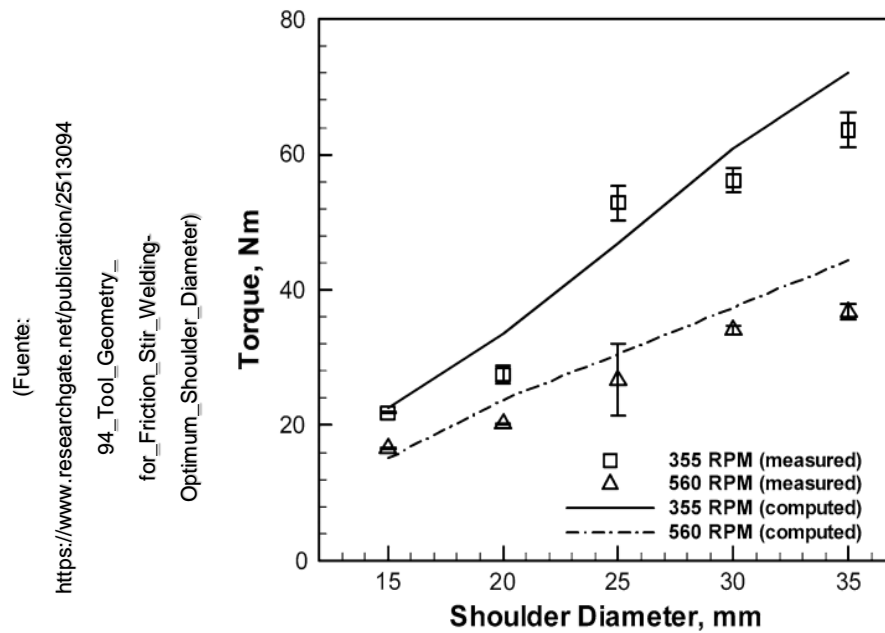
La velocidad de giro máxima de la fresadora es  $\omega = 2\,240 \text{ rpm} = 234,5723 \text{ rad/s}$ .

Reemplazando datos:

$$T = \frac{4\,000}{234,5723} = 17,052 \text{ (N} \cdot \text{m)} \cong 17 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

En el siguiente diagrama, con el torque teórico calculado, determinamos el diámetro del hombro

**Tabla 12. – Tabla para determinar el diámetro del hombro mediante el torque de la maquina**



El diámetro del hombro determinado es:

$$\varnothing_h = 16 \text{ (mm)}$$

:

**Tabla 13. - Tabla para seleccionar el diámetro del pin**

Diámetro del hombro ( $\varnothing_h$ ; mm)	Diámetro del pin ( $\varnothing_p$ ; mm)	Proporción pin – hombro	Material base y espesor (mm)
16 a 20	6	1:3,30 – 1:2,70	AA 5xxx y 6xxx @ 5,5 mm
12	4	1:3,00	AA 1xxx @ 1,8 mm

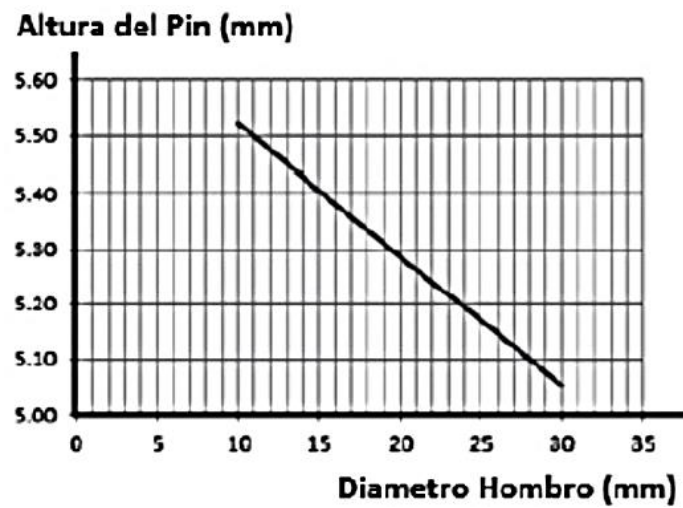
Fuente:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/5519/8101#t1>

El diámetro del pin correspondiente es:

$$\varnothing_p = 6 \text{ (mm)}$$

**Tabla 14. – Tabla para determinar la altura del pin.**

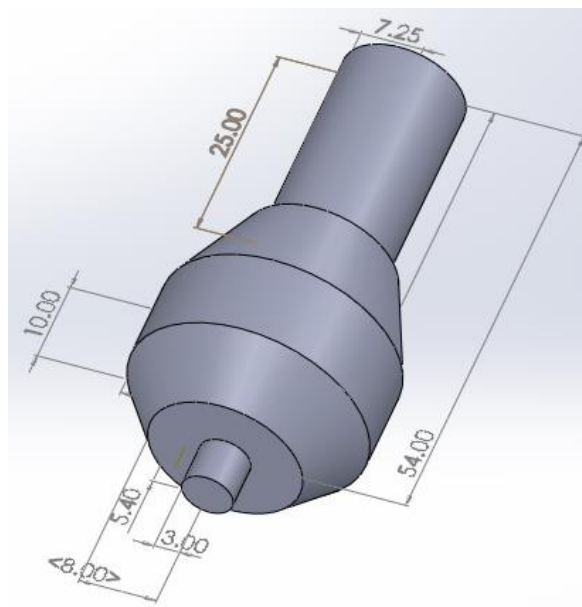


(Fuente: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/5519/8101#t1>)

$$h \cong 5,375 \text{ (mm)}$$

Asumimos:

$$h = 5,4 \text{ (mm)}$$



**Figura 11. – Dimensiones de la herramienta**

**Tabla 15. Tabla para determinar el material utilizado para la herramienta.**

<b>Aleación</b>	<b>espesor</b>	<b>Material de herramientas</b>
Aleaciones de aluminio	<12	Acero para herramientas WC - Co
	<26	MP 159
Aleaciones de Magnesio	< 6	Acero para herramientas WC
Cobre y Aleaciones de Cobre	< 50	Aleaciones de Níquel Nitruro de Boro Poli cristalino, Aleaciones de Tungsteno
	< 11	Acero para herramientas
Aleaciones de Titanio	< 6	Aleaciones de Tungsteno
Acero Inoxidable	< 6	Nitruro de Boro poli cristalino, Aleaciones de Tungsteno
Acero de baja y media aleación	< 10	WC Nitruro de Boro poli cristalino
Aleación de níquel	< 6	Nitruro de Boro poli cristalino

Fuente: (Arbest, 2005, p. 23)

El material que he utilizado es un acero K 100 que presenta las siguientes características:

Propiedades. – Mayor standard de los aceros ledeburíticos al 12% de cromo con mínima variabilidad de medidas.

Aplicaciones. –

- Herramientas de corte y estampado.
- Herramientas de virutaje.
- Herramientas de medición
- Herramientas y componentes resistentes al desgaste.
- Herramientas para trabajo en caliente.

**Tabla 16. – Tabla de la composición química del material utilizado.**

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>O</b>
2,00	0,25	0,35	11,50

Fuente:

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>

Conformación en caliente. –

Forjado de 1050 a 850° C, enfriado lento.

Tratamiento Térmico. –

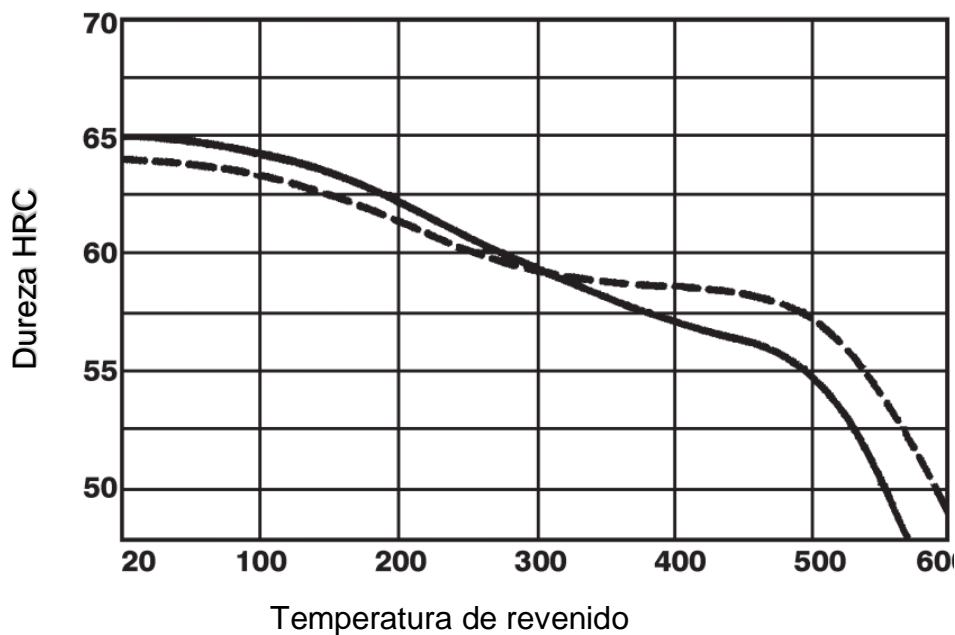
Recocido blando. – 800 a 850° C, enfriado lento llega a 248 Brinell.

Recocido de eliminación de tensiones. – Aprox. A 650° C.

Temple. - 940 a 970° C., se obtiene de 57 a 62 HRC.

Revenido, -Calentamiento lento hasta la temperatura de revenido inmediatamente después del temple.

**Tabla 17. – Tabla de diagrama de revenido y dureza adquirida**



Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>

**Tabla 18. – Tabla de las propiedades físicas del material a 20° C.**

Densidad	7,7	Kg/dm <sup>3</sup>
Conductibilidad térmica	20,0	W/(m.K)
Calor específico	460	J/ (Kg. K)
Resistencia eléctrica	0,65	Ohm.mm <sup>2</sup> /m
Módulo de elasticidad	210x10 <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>

**Esfuerzo por torsión en el pin. – (Shigley, 2008, p.95)**

$$\theta = \frac{\tau l}{Gj}$$

Dónde:

$\tau$  = par de torsión.

$l$  = longitud.

$G$  = módulo de rigidez.

$J$  = segundo momento polar del área.

Donde

$$\tau = \frac{P}{N} = \text{N.m}$$

$L = 5 \text{ mm.}$

$G = 26,300 \text{ MPa (Según tablas).}$

$$J = \frac{\pi \times d^4}{32} = \frac{(3,14 \times 6 \times 10^{-3})^4}{32} = 3,93 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$\theta = \frac{\tau l}{Gj} = \frac{17 \text{ Nm} \times (5 \times 10^{-3} \text{ m})}{(26,3 \times 10^9 \times 3,93 \times 10^{-9}) \text{ m}^4}$$

$$= 8,2237 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$= 0^\circ 2' 50''$$

**Esfuerzos flexionantes en el pin. - . (Timoshenko, 2012, p.343).**

$$\sigma_x = \frac{32Mo}{\pi d^3}$$

Donde:

$\sigma_x$ : esfuerzo por flexión ( $\text{N/m}^2$ ).

$Mo$ : momento torsionante ( $\text{N} \times \text{m}$ )

$d$ : diámetro.

$$\sigma_x = \frac{32 \times 17 \text{ N.m}}{(3,14 \times 6 \times 10^{-3})^3} = 81,349 \text{ MPa}$$



### **Fuerza utilizada en el hombro. –**

$$F = \frac{Mo}{\mu \times D_m} = \frac{17 \text{ Nm}}{0,47 \times 11 \times 10^{-3}} = 3,288 \text{ KPa}$$

### **3.2.3. - Aplicación del Método de Taguchi para la optimización de las juntas soldadas de aluminio por fricción batido (FSW)**

En este estudio, un DOE ortogonal de Taguchi L9 es usado para optimizar los parámetros del aluminio fundido de calidad AA 6xxx. La velocidad rotacional, el ángulo de inclinación de la herramienta y velocidad de avance son los parámetros tomados en consideración. Debido a que se están considerando tres niveles y tres factores, se usará una OA L9. Los valores, sus símbolos y niveles se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 19. – Tabla de valores de los parámetros de proceso y sus niveles (Optimización del diseño del producto).**

:

Nivel	A Velocidad de Rotación (rpm)	B Ángulo d inclinación de la Herramienta (Ø°)	C Velocidad de avance (mm/min)
1	960	0,0	72
2	1 356	0,5	96
3	1 920	1,0	118

### **3.2.2. - Ratio Señal/Ruido**

El propósito del estudio es maximizar la resistencia de corte a la tracción a través de parámetros óptimos de FSW. A fin de determinar las características de mejor calidad, se emplea el mayor valor. Se estudia la resistencia a la tracción de la junta, para considerar los efectos de los parámetros del proceso FSW. Los datos experimentales se convierten en la

relación S/N. Los valores calculados de relación S / N se tabulan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 20, - Tabla de la capa experimental: matriz ortogonal L9, valor principal y proporción S/N (Optimización del diseño del proceso).**

Nro.	A Velocidad de rotación	B Ángulo de Inclinación	C Velocidad de avance	Esfuerzo promedio de cizallamiento	Ratio S/N
1	1	1	1	4 058	72,16624
2	1	2	2	4 471	73,00809
3	1	3	3	3 615	71,16217
4	2	1	1	4 095	72,24508
5	2	2	2	4 057	72,16410
6	2	3	3	4 520	73,10277
7	3	1	1	2 627	68,38920
8	3	2	2	4 380	72,82948
9	3	3	3	2 960	69,42583

### 3.3 --Implementar el sistema de soldadura y realizar las pruebas de la junta



**Figura 12. – Toma de temperatura de material para colada.**

En las imágenes vemos el tipo de aluminio que he utilizado, que es de autopartes de motor de motos y carros.

Este aluminio está comprendido entre las clases 4032 y 2618.

Con la colada obtenemos un aluminio fundido de características similares al material que hemos utilizado para fundirlo y es lo que usamos en la confección de las diversas piezas como: Barras, poleas, bocinas u otras piezas de diferentes formas y tamaños.

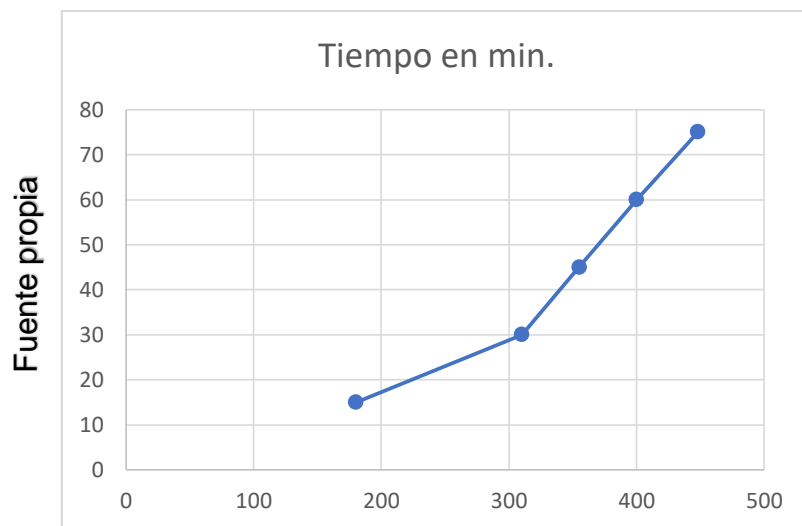
Contando con una temperatura ambiente de 23, 4° C. es que comienzo a tomar mis datos de referencia para elaborar mis cuadros de tiempo-temperatura, contando con una pistola laser que sirve para medir la temperatura, y que tiene un alcance a un metro aproximadamente.

Se toma la temperatura desde cuando se paró el horno que fue 180° C. en tiempo de 15 minutos estando prendido, como se muestra en la foto más adelante, la temperatura fue incrementando como se muestra en la tabla 21.

**Tabla 21. – Tablas donde se muestra las temperaturas alcanzadas en la colada**

Fuente propia	Temperatura en °C	Tiempo en min.
	180	15
	310	30
	355	45
	400	60
	448	75

(a)



(b)

(a) Cuadro

(b) Diagrama

Acá se ve la instalación del material en la fresadora para su posterior soldeo, se debe tener cuidado con la sujeción de las piezas, ya que si no fuera así se podría rozar con la base y averiar la herramienta y la base de la fresadora.

**Figura 13. - Apreciamos la adaptación de un dispositivo que permite el enfriamiento de la herramienta**

En esta imagen apreciamos la parte donde se sujetan las herramientas, ya sea el pin-hombro como el enfriador, que se le da movimiento con la presión que recibe de la tuerca que presiona a la pinza ya que las temperaturas alcanzan hasta los 270° C.

La sujeción es directa de la pieza con sus respectivas pinzas y porta pinzas, estas son de material acerado, que soporta grandes esfuerzos, de manera que cuando se termina de elaborar el soldeo, solo se retira la herramienta y instrumento de sujeción permite sujetar otras herramientas.

Este dispositivo es de fabricación y diseño propio, con características particulares, como se ve en la figura 15 y 16. Los agujeros son confeccionados en distancias equidistantes para que el aire caliente se enfríe, al girar la herramienta, los agujeros son de 6 mm-



Los agujeros que se encuentran en la periferia se unen con los que están en la cara de la herramienta que sirve para enfriar.



**Figura 14. - Forma como se han sujetado las probetas para poder desarrollar la soldadura de fricción agitación**

Los parámetros utilizados en la junta se desarrollaron con un diseño de Taguchi, que es un experimento diseñado que permite elegir un producto o proceso que funciona con mayor consistencia en el entorno operativo. Los diseños de Taguchi reconocen que no todos los factores que causan variabilidad pueden ser controlados. Estos factores que no se pueden controlar se denominan factores de ruido. Los diseños de Taguchi intentan identificar factores controlables

(factores de control) que minimicen el efecto de los factores de ruido. Durante el experimento, usted manipula los factores de ruido para hacer que haya variabilidad y luego determina la configuración óptima de los factores de control para que el proceso o producto sea robusto o resistente ante la variación causada por los factores de ruido. Un proceso diseñado con esta meta producirá una salida más consistente. Un producto diseñado con esta meta tendrá un rendimiento más consistente, independientemente del entorno en el que se utilice.

### 3.4 - -Determinar la evaluación técnica económica de la propuesta

Para realizar nuestra evaluación económica hay que determinar los costos hechos en la elaboración de nuestra herramienta, la cual es:

**Tabla 22. – Costo de la herramienta pin-hombro**

Fuente: Elaboración Propia

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio total
1	Material de la herramienta	2	S/. 250
2	Mecanizado	2	S/. 150
3	Tratamiento térmico	1	S/. 500
4	Transporte	1	S/. 50
Costo total			S/. 950

Para la evaluación económica consideramos los siguientes datos:

- Piezas para soldar a la semana: 12 piezas.
- Salario de soldador al mes: S/. 1200 soles.
- Costo de soldadura por unidad: S/. 4.50 soles.
- Costo de soldadura promedio por piezas a soldar: S/. 18.00 soles.

**Tabla 23. - Cuadro de recuperación de la elaboración de la herramienta**

	<b>MESES</b>					
	0	1	2	3	4	5
<b>EGRESOS</b>						
Costo Total	S/. -950					
Operación y mantenimiento		S/.26	S/.26	S/.26	S/.26	S/.26
<b>INGRESOS</b>						
Ahorro por material de aporte		S/.216	S/.216	S/.216	S/.216	S/.216
<b>BENEFICIOS</b>	S/. -950	S/.190	S/.190	S/.190	S/.190	S/.190

Fuente: Elaboración propio

#### IV. DISCUSIÓN

En general la presente investigación trata del diseño de la herramienta, que se utilizara en la unión de piezas de aluminio, en su mayoría de aluminio fundido 6xxx. Se eligió la matriz L9 de Taguchi, por cuanto se analizaron tres factores del proceso FSW, cuya influencia conjunta sobre la resistencia a la tracción de la junta soldada era incierta. Los valores de entrada se tomaron referenciando el equipo con el que se contaba para la realización del estudio, es decir, las prestaciones que brinda la máquina respecto de las posibilidades de ejecutar procesos FSW.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 15. – Forma física de la herramienta**

Se tomó como factores de ruido la dureza de la herramienta y el tiempo en producirse la fusión del metal base. Ello tomando en cuenta la no disponibilidad en el mercado del material recomendado para confeccionar la herramienta (MP159); ésta se realizó con acero AISI, al cual se tuvo que realizar tratamiento térmico posterior, en dos etapas se desarrollaron a fin de tener un valor “alto” y un valor “bajo” para dicho factor.

Según Betancourt (2012), quien estudió el efecto de la forma de la herramienta y los parámetros del proceso de unión FSW, incluyendo las propiedades mecánicas de platinas de aluminio de 5 mm de espesor, las formas estudiadas del pin: triangular, cuadrada y circular, todas ellas utilizadas para soldar platinas de aluminio con diferentes condiciones de soldadura velocidad de avance y rotación, lo llevaron a concluir que la forma del pin no influye en las resistencias mecánicas.



En el diseño de la herramienta que he efectuado para el proceso FSW se desarrolló con un pin recto que dio mejores acabados en las uniones y mejores resistencias mecánicas y apariencia.

A pesar de ser un factor inherente al proceso de soldadura, no se tomó como factor de ruido la temperatura, pues no se contaba con un instrumento capaz de determinar ipso facto dicho valor; por ello, se optó controlar el tiempo en que, debido al calor generado por el rozamiento de la herramienta con el metal base, se podía observar la fusión de este. Los estados para dicho factor, también se consideraron en los mismos niveles que la dureza: “alto” y “bajo”.

Como se puede concluir de los procesos y cálculos ejecutados, los valores más significativos para ejecutar el proceso de soldadura de juntas con aluminio son las velocidades de rotación y de avance.

Los mejores resultados de resistencia se han logrado con la mayor influencia de la velocidad de rotación con un valor en el orden de 960 rpm. Con valores de velocidad rotacional mayor, se observa que paulatinamente, dicho valor de resistencia va decayendo.

Dicho resultado es coherente con proposiciones y estudios de otros investigadores que concluyen que altas velocidades de rotación, fomentan la generación de altas temperaturas; pero, a su vez, estas altas temperaturas originan bajos valores de resistencia a la tracción. En su trabajo sobre juntas Fsw (TIER, ROSENDO, et al., 2013), observa que las soldaduras producidas con velocidades de rotación más bajas (900 rpm), presentan mayor resistencia en relación con las soldaduras producidas con velocidades de rotación mayores (1900 rpm).

El segundo factor más influyente sobre el proceso es la velocidad de avance.

Para este estudio, dicho valor se ha determinado en 96 mm/min.

Dicho parámetro influye sobre el tiempo que toma fundir el material base para producir la junta. Esta velocidad de avance en conjunto con el factor velocidad de rotación alta, han demostrado producir soldaduras con baja resistencia. Inclusive, en estas condiciones la adhesión en la zona de soldadura es débil, condición coherente con otros estudios (TIER, ROSENDO, et al., 2013).



**Figura 16. – Desarrollo de probetas**



**Figura 17. – Obtención de probeta con buenos acabados**

Con los parámetros de proceso obtenidos mediante el método de Taguchi, se procedió a realizar la respectiva junta aplicando el proceso FSW, para la fresadora dispuesta. La junta realizada alcanzó apariencia y adhesión satisfactorias. El valor de fuerza de tracción obtenido fue de 1 350 N, que es coherente con el rango obtenido al procesar los datos, las ratios S/N y el ANOVA.



**Figura 18. – Comparación de acabados obtenidos.**

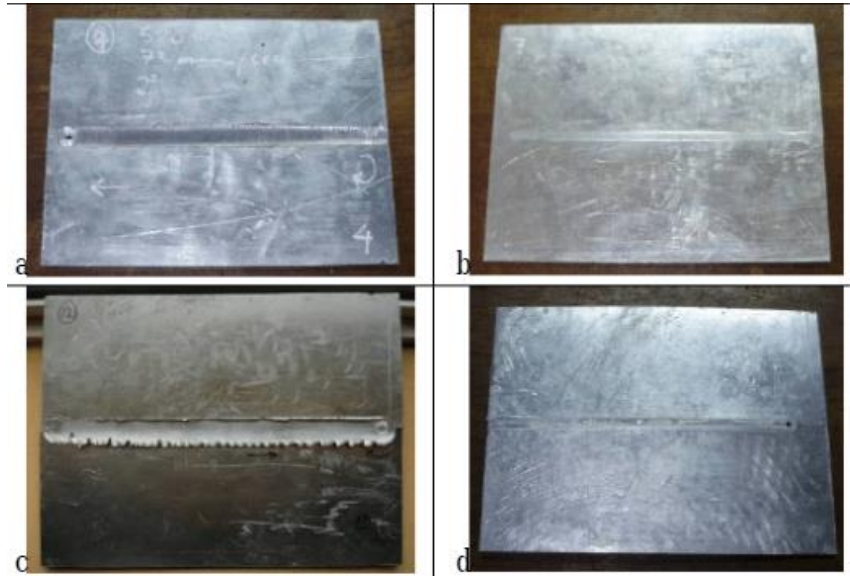
Como se observa, los aspectos del cordón de soldadura FSW para los parámetros dados son homogéneos, en comparación con lo ejecutado por soldadura por arco; presentan marcas de soldadura parejas y niveles de rebaba poco profundos, la unión se realizó aplicando las velocidades de rotación y avance de soldadura optimizados, así como el ángulo de inclinación de la herramienta, con el fin de encontrar los mejores resultados.

Estos niveles de rebaba poco profundos se atribuyen generalmente a una menor área de contacto entre el hombro de la herramienta y el material de la junta. Las relaciones no adecuadas entre la velocidad de rotación y la velocidad de avance de la herramienta, ocasiona problemas de tal manera que el material de la junta no logra ser unido eficientemente bajo el hombro, esto también depende también del material que se va a soldar.

Fue necesario confeccionar dos herramientas para completar las 4 corridas contempladas en la matriz L9. Ello debido al excesivo desgaste originado en la misma, debido a los altos niveles de fricción. Es importante hacer notar que dicho factor, pone en relieve la importancia de realizar la herramienta con materiales más resistentes a la fricción y al tratamiento térmico posterior. Este último se realizó empíricamente y sin adoptar las medidas necesarias para tener la garantía de un desempeño óptimo.

La forma de sujeción de la herramienta es con pinza y porta pinza, demostrándose que se puede lograr excelentes resultados.

## PROBETAS OBTENIDAS EN FRESADORA UNIVERSAL, PARA DESARROLLAR SOLDADURA POR FRICCIÓN AGITACION.

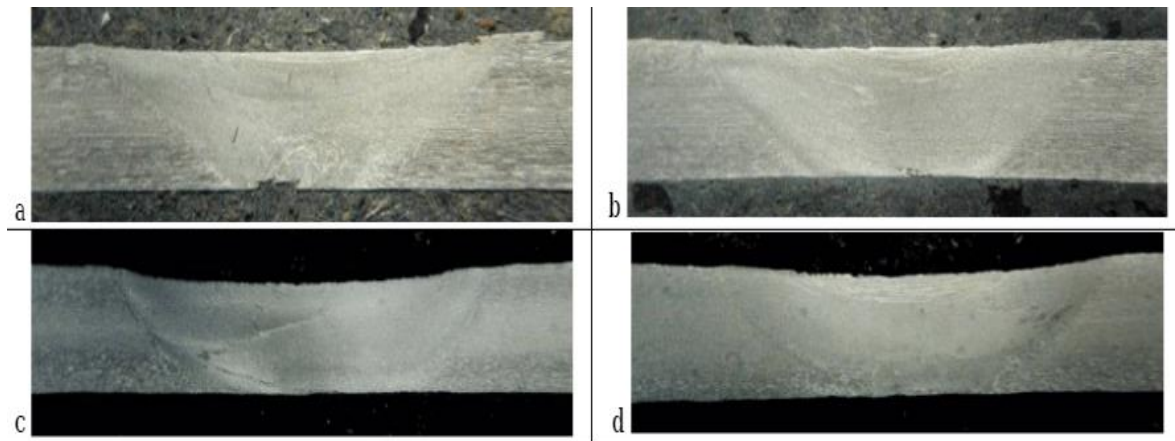


En general se obtuvo una unión soldada homogénea a lo largo de toda la junta sin observarse defectos macroscópicos (figura a y b). Para las configuraciones con mayor ángulo de inclinación de la herramienta se produjo una mayor expulsión de material, dando lugar a la formación de una rebaba (figura c).

Asimismo, en general se produjo algún nivel de adhesión de la raíz de la unión a la placa base de fijación.

Este efecto ha sido reportado para espesores finos como los que se estudian en el presente trabajo. En algunos de los casos, esta adhesión llevó a la formación de defectos superficiales en la zona de la raíz (figura d). La geometría de la herramienta tuvo resultados favorables, sin encontrarse diferencias significativas en las uniones soldadas. En cuanto a la fuerza normal, dado que en este caso dicha fuerza está controlada por desplazamiento, ésta alcanza un valor máximo que no puede ser superado, el cual está relacionado con la resistencia del material a esa temperatura y al aplicar un mayor desplazamiento el único efecto que se tiene es la perforación de la junta y un exceso de rebaba en la superficie. Luego de cada soldadura la herramienta presenta adhesión de aluminio sobre la superficie del pin y del hombro, por lo que se realiza un proceso de limpieza. Para la mayor velocidad de rotación (960 RPM) y de avance (96 mm/min).

## **CORTES TRANSVERSALES DE LAS PROBETAS PARA HACERLES UNA INSPECCION VISUAL DEL ACABADO CON LA SOLDADURA POR FRICCION AGITACION**



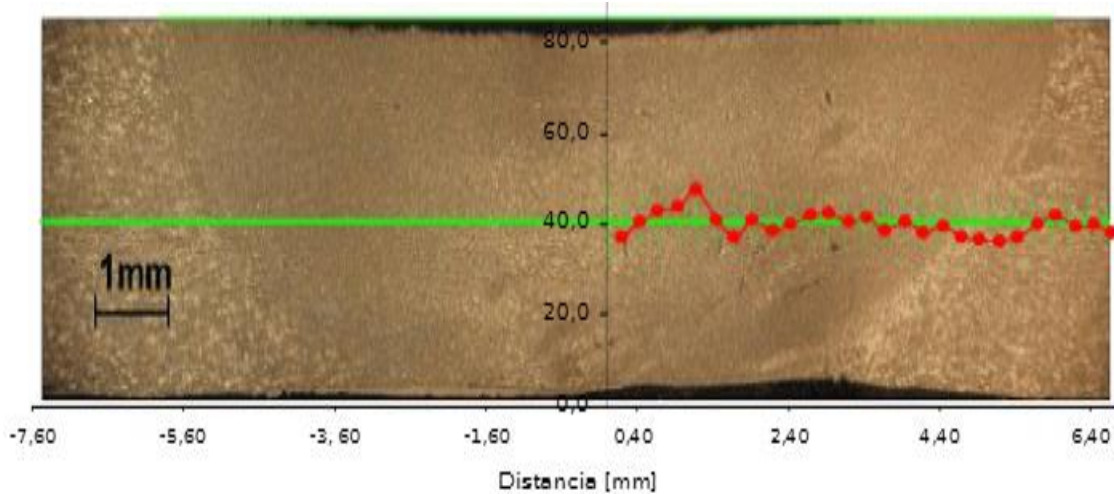
Se observan en las secciones obtenidas sobre cortes transversales de las distintas uniones soldadas. En general se observan que los cordones son simétricos. Para las muestras a y b se observa una buena continuidad en el cordón, pero con la presencia de defectos en la raíz, ubicados del lado de retroceso de la herramienta.

Para las muestras c y d se puede ver que las raíces no presentan los defectos mencionados.

En las muestras producidas con una mayor carga normal se observa una geometría del cordón más redondeada (c y d), mientras que en las muestras producidas con baja carga normal se tiene un cordón con forma de V. Esto estaría asociado con que la mayor carga normal produce un mayor calor en la zona del hombro, por lo que es mayor la profundidad de la zona mezclada desde la superficie

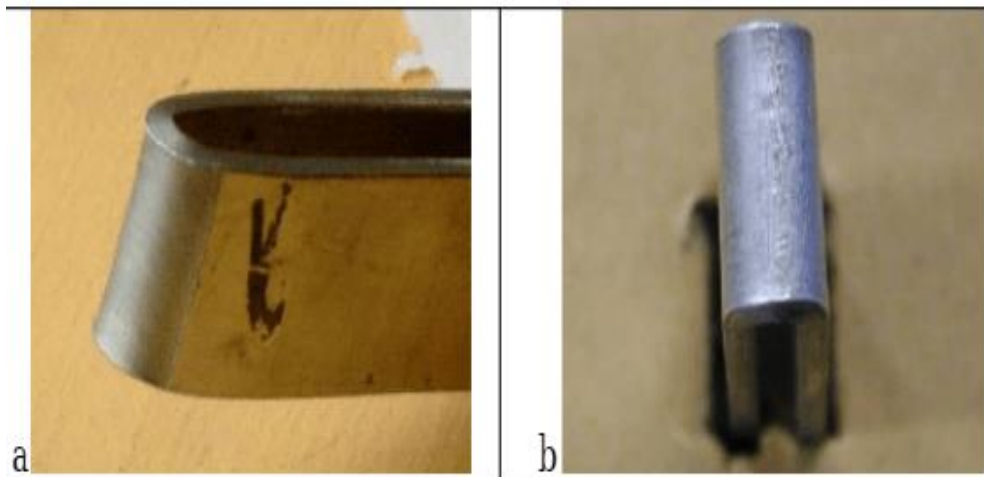
En la adaptación de una máquina herramienta para soldadura por Friction Stir Welding (fsw) de aluminio, tesis trabajada con los parámetros parecidos, nos ofrecen los datos de dureza, resistencia a la tracción y esfuerzos de doblado

### PRUEBA DE DUREZA



En las muestras se observa una disminución del tamaño de grano en el cordón de soldadura. La dureza no se ve significativamente afectada a lo largo del cordón de soldadura. Sin embargo, en la zona afectada por el calor (ZAC), adyacente a la zona termo mecánicamente afectada (ZTMA), se detectó un leve ablandamiento. Estos valores son representativos de lo observado en todas las muestras, en las que la dureza varió entre 32 y 49 HV.

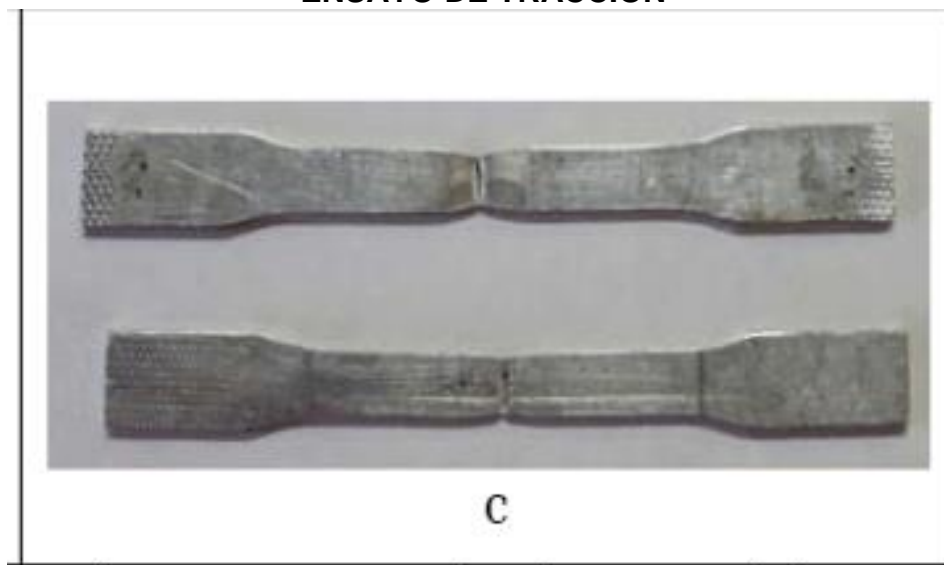
### PRUEBA DE PLEGADO



Sobre todas las muestras soldadas se realizaron los ensayos de plegado a 180°. Los plegados de cara, en todos los casos fueron satisfactorios, sin presentar defectos. En los plegados de raíz, por el contrario, en general se presentaron defectos asociados a la raíz de la soldadura. Los mejores resultados, en este ensayo se presentaron prácticamente defectos en la raíz

Resultados de ensayos de plegado		
MUESTRAS	PLEGADO DE CARA	PLEGADO DE RAIZ
a	Sin defectos	Sin defectos
b	Sin defectos	Sin defectos
c	Sin defectos	Sin defectos
d	Sin defectos	Sin defectos

### ENSAYO DE TRACCIÓN



La resistencia a la tracción de las muestras soldadas fue de alrededor de 75 MPa, sin presentar diferencias significativas entre las distintas muestras. Este valor fue menor que la resistencia del material base (100MPa), lo que explica la rotura en el cordón. Todas las roturas de las muestras ensayadas no presentaron defectos asociados. Los valores de alargamiento a rotura fueron superiores a los del material base, consistentemente con una menor resistencia mecánica. Estos resultados podrían estar asociados a un ablandamiento de la zona ZAC debido a la recristalización del material base, deformado en frío. Asimismo, esto es consistente con un leve ablandamiento medido en la zona ZAC, efecto reportado para este tipo de materiales.

Resultados de ensayos de tracción			
MUESTRAS	$\sigma_{uts}$ (MPa)	A (%)	ROTURA
a	81	11,4	CORDON
b	72	12,4	CORDON
c	76	11,1	CORDON
d	75	11,5	CORDON



## **V. CONCLUSIONES**

Se desarrolló la junta en probetas de aluminio fundido 4032 y 2618, con soldadura por arco eléctrico y sus acabados no son muy bien presentables como se demuestran en las imágenes (Figura 10), material que fue desarrollado en las instalaciones de nuestra institución, aplicando las mejores técnicas

Se diseñó el experimento demostrando que se puede desarrollar, aplicando el método de Taguchi para la determinación de los factores más influyentes en el proceso de soldadura de aluminios aleados, usando FSW. Se calculó la relación pin-hombro, que es determinante en los resultados esperados de la junta, respecto de su resistencia a la tracción. Se diseñó y construyó una herramienta adaptada para ejecutar el proceso FSW, en una fresadora convencional, usando el utillaje disponible.

Se implementó y verificó la aplicabilidad de un procedimiento que asegura obtener resultados óptimos en las juntas soldadas. Se realizaron uniones satisfactorias soldadas por FSW que permitieron contrastar los resultados calculados para las condiciones establecidas, tanto de la proporción S/N como ANOVA. Se determinó que es factible y se ha observado en la ejecución de uniones por soldadura aplicando el proceso FSW en el taller de la empresa Fundición Chepén una gran flexibilidad en todos sus parámetros.

Se desarrolló un cuadro de costo beneficio dando como resultado que la recuperación del capital que se va a emplear en la elaboración de la herramienta se recuperará en 5 meses, esto nos favorece porque al cabo de este tiempo se obtendrán ganancias hasta la caducidad de la herramienta.



## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda usar el acero k100 y que mediante tratamientos térmicos puedan alcanzar las características físicas y químicas que se necesitan, ya que es fácil de encontrarlo, su comercialización no es muy escasa como el H13 u otros aceros que no se comercializan por retazos sino por barras enteras y eso nos causaría enormes costos para la elaboración de la herramienta.

Recomiendo usar velocidades bajas debido a que eso permite obtener uniones más resistentes, que es la característica mecánica más relevante de este tipo de trabajos.

Se podría investigar para hacerlo en forma portátil, porque hay ciertas limitaciones en lo que es: forma, tamaño y distancias; desde luego que para cada pieza es una forma diferente de sujetarla y diferentes parámetros dependiendo la composición del material a soldar.

La metodología de Taguchi nos abrevia tiempo y dinero, ya que realizamos las probetas necesarias y con los datos que manejamos como los parámetros de diseño, nos provee de las respuestas para desarrollar el diseño de la herramienta que deseamos para cada necesidad.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABOT Pedro, MOGLIONI Alberto y CARELLA Eduardo. Soldadura por fricción agitación (FSW) de AA 6061 T6. Buenos Aires: Comisión Nacional de Energía Atómica, mayo 2010, 6 pp.

Disponible en:

[http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/chile/Indice\\_Archivos/Download/E115.pdf](http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/chile/Indice_Archivos/Download/E115.pdf)

TUFARO L. N., BURGUEÑO A. y SVOBODA H.G. Tensiones residuales en uniones soldadas por FSW en aluminio 7075-T651 (Residual stresses in 7075-T651 FSW joint) [en línea]. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, marzo 2012, 8 pp.

Disponible en:

<http://www.scielo.br/pdf/si/v17n4/a07v17n4.pdf>

BURGOS A., SVOBODA H. G. y SURIAN E. Soldadura por fricción agitación (FSW) de aluminio. Buenos Aires: Universidad Nacional de Lomas de Zamora, noviembre 2010, 11 pp.

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Hernan\\_Svoboda/publication/267261502\\_SOLDADURA\\_POR\\_FRICCION\\_AGITACION\\_FSW\\_DE\\_ALUMINIO/links/54f9a9330cf29a9fbd7c448d/SOLDADURA-POR-FRICCION-AGITACION-FSW-DE-ALUMINIO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hernan_Svoboda/publication/267261502_SOLDADURA_POR_FRICCION_AGITACION_FSW_DE_ALUMINIO/links/54f9a9330cf29a9fbd7c448d/SOLDADURA-POR-FRICCION-AGITACION-FSW-DE-ALUMINIO.pdf)

FERNÁNDEZ G., BURGOS A. y SVOBODA H. G. Adaptación de una máquina herramienta para soldadura por friction stir welding (fsw) de aluminio. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, octubre 2009, 7 pp.

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/265815103\\_ADAPTACION\\_DE\\_UNA\\_MAUQUINA\\_HERRAMIENTA\\_PARA\\_SOLDADURA\\_POR\\_FRICTION\\_STIRWELDING\\_FSW\\_DE\\_ALUMINIO](https://www.researchgate.net/publication/265815103_ADAPTACION_DE_UNA_MAUQUINA_HERRAMIENTA_PARA_SOLDADURA_POR_FRICTION_STIRWELDING_FSW_DE_ALUMINIO)

TUFARO L. N., BURGUEÑO A. y SVOBODA H.G. Tensiones residuales en uniones soldadas por FSW en aluminio 7075-T651 (Residual stresses in 7075-T651 FSW joint) [en línea]. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, marzo 2012, 8 pp.

Disponible en:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0104-92242012000400007&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0104-92242012000400007&lng=pt&nrm=iso&tlng=es)

VEGA ANTICONA A. y QUIROZ GRADOS H. Evaluación de parámetros de avance y rotación para soldadura en aluminio mediante proceso FSW. Trujillo: Revista Tecnología & Desarrollo, diciembre 2015, 6 p.

Disponible en:

<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/RTD/article/download/759/597>

TUFARO L. N. y SVOBODA H.G. Estudio de las tensiones residuales en uniones soldadas por fricción agitación de aleación de aluminio de alta resistencia. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, s.f.p., 2 pp.

Disponible en:

<https://www.inti.gob.ar/tecnointi2013/CD/info/pdf/528.pdf>

TUFARO L. N. y SVOBODA H.G. Efecto del procedimiento de soldadura por fricción-agitación sobre las propiedades mecánicas en uniones de aleación de aluminio termoenviejable. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, s.f.p., 2 pp.

Disponible en:

<https://www.inti.gob.ar/tecnointi2013/CD/info/pdf/530.pdf>

TUFARO L. N. y SVOBODA H.G. Estudio de los ciclos térmicos adquiridos durante el proceso de soldadura por fricción-agitación mediante modelos analíticos y numéricos. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, s.f.p., 2 pp.

Disponible en:

<https://www.inti.gob.ar/tecnointi2013/CD/info/pdf/531.pdf>

TOAPANTA BAUTISTA Raúl Wladimir. Estudio del proceso de soldadura por fricción agitación (FSW) y su incidencia sobre las propiedades mecánicas en uniones de perfiles de aluminio. Trabajo estructurado [Título Ingeniero Mecánico]. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015, 308 pp.

MOTT, Robert. Resistencia de materiales. 5ª ed. Pearson Educación: México, 2009. 792 pp ISBN 9780132368490

BUDYNAS, Richard y NISBETT, J. Keith. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª ed. McGraw-Hill Interamericana, 2008. 1092 pp. ISBN: 9789701964047

NORTON, Robert. Diseño de máquinas, un enfoque integrado. 4ª ed. Pearson Educación: México, 2011. 888 pp. ISBN 9786073205894

TIMOSHENKO, Stephen. Resistencia de materiales. ESPASA-CALPE, S.A. Madrid, 1957. 349 pp.

FILOSOFIA DE LA CALIDAD: Maestros de la calidad. Archivos de blog. Disponible en:

<http://maestrosdelacalidadrc100312.blogspot.pe/2012/09/maestros-de-la-calidad-genichi-taguchi.html>

TORCUATO CASTILLO V. Herramientas para el análisis de la calidad. Méjico: Instituto Tecnológico de Apizaco.

Disponible en:

<https://mejoradelacalidad-victortorcuato.weebly.com/>

TEMA 9. Desarrollo de la metodología de Taguchi

Disponible en:

[http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema\\_9.pdf](http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema_9.pdf)

TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE).

Disponible en:

[https://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=00176d76-1f4f-4c18-9886-e92beacae005&groupId=10128](https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=00176d76-1f4f-4c18-9886-e92beacae005&groupId=10128)

ADAPTACIÓN DE UNA MÁQUINA HERRAMIENTA PARA SOLDADURA POR FRICTION STIR WELDING (FSW) DE ALUMINIO

Disponible en:

<https://www.google.com.pe/search?q=macrografias+soldaduras&oq=macrografias&aqs=chrome.1.69i57j0l3.8398j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

## **ANEXOS**

## **ANEXO N° 1**

### **INSTRUMENTODE RECOLECCION DE DATOS**

#### **ENCUESTA**

**OBJETIVO.** – Recolectar información relacionada al DISEÑO DE “PIN-HOMBRO” DEL PROCESO FSW PARA MEJORAR JUNTAS SOLDADAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO EN “FUNDICION CHEPEN” – CHICLAYO – 2017

#### **ITEMS**

- ¿Cómo realizan las juntas de aluminio en la empresa?
  - a) Maquina manual.
  - b) Maquina semi-automática.
  - c) Maquina automática.
  - d) Lo sueldan en otro lugar.
- ¿Es eficiente o de calidad las juntas en la empresa?
  - a) Si.
  - b) No.
- ¿Cuáles son las características de las juntas que realizan?
  - a) Buena producción de juntas.
  - b) Mala calidad y de formas irregulares.
  - c) Cumple con las normas técnicas de soldadura.
  - d) Genera mucho cansancio al personal que labora.
- Con este sistema de pin hombro, ¿lograrían cumplir con las metas trazadas?
  - a) Sí.
  - b) No.

¿Por qué?

.....

.....

.....

- ¿Conocen la norma técnica nacional para realizar las juntas en aluminio?
  - a) Sí.
  - b) No.
- ¿Tienen establecidos los parámetros para realizar las juntas soldadas?
  - a) Si.
  - b) No.
- ¿Cuándo realizan las juntas soldadas, consideran las medidas técnicas de acuerdo con la norma nacional?
  - a) Si.
  - b) No.
- ¿La máquina que usan para realizar las juntas que antigüedad tienen?
  - a) 0 a 2 años.
  - b) 3 a 4 años.
  - c) 5 a 6 años.
  - d) 7 a más años.
- ¿Qué cantidad de juntas se podrían producir por una jornada de 8 horas?
  - a) 1 a 2 unidades.
  - b) 3 a 5 unidades.
  - c) 6 a 8 unidades.

- d) 9 a 11 unidades.
- e) 12 a más unidades.
- ¿Existen beneficios de la relación entre gastos de producción de juntas de aluminio mediante sistema convencional y el sistema fsw?
  - a) Si.
  - b) No.

¿Por qué?

.....

.....

.....

## **Anexo Nº 2**

### **FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **DATOS GENERALES DEL EXPERTO.**

- Apellidos y Nombres:\_\_\_\_\_
- Profesión:\_\_\_\_\_
- Grado académico:\_\_\_\_\_
- Actividad laboral actual:\_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_



### INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una “X” conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	-----------	---------------

1. Sírvese marcar con una “X” las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)			
b) Experiencia como profesional. (EP)			
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)			
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)			
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)			

---

***Firma del entrevistado***

***Anexo: Hoja de vida.***

**Estimado(a) experto(a):**

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo (indicar el objetivo de la tesis).

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente: \_\_\_\_ Poco pertinente: \_\_\_\_ No es pertinente: \_\_\_\_

Por favor, indique las razones:

---

---

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes: \_\_\_\_ Insuficientes: \_\_\_\_

Por favor, indique las razones:

---

---

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas: \_\_\_\_ Poco adecuadas: \_\_\_\_ Inadecuadas: \_\_\_\_

Por favor, indique las razones:

---

---

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Item	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	


5. ¿Qué sugerencias haría ud para mejorar el instrumento de recolección de datos?

---



---



---



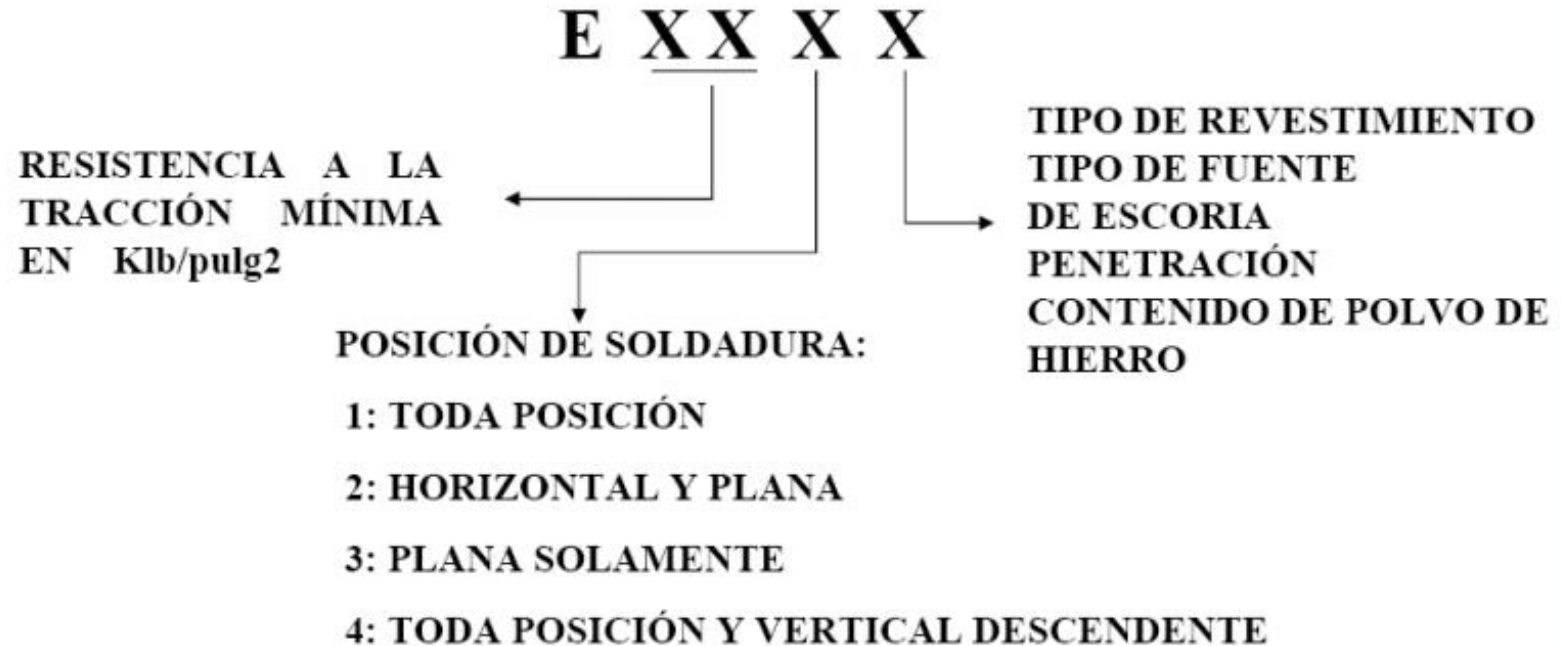
---

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación:

Firma del Experto

Según NORMA AWS para electrodos revestidos de soldadura eléctrica



**INTERPRETACION DEL ULTIMO DIGITO: NORMA AWS A5.1**

ULTIMO DIGITO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
CORRIENTE Y POLARIDAD	CC(+)	CA CC(+)	CA CC(-)	CA CC(+/-)	CA CC(+/-)	CC(+)	CA CC(+)	CA CC(+)	CA CC(+)
ESCORIA	ORGÁNICA	ORGÁNICA	RUTILICA	RUTILICA	RUTILICA	BASICA	BASICA	MINERAL	BASICA
ARCO	ENERGICO	ENERGICO	MEDIO	SUAVE	SUAVE	MEDIO	MEDIO	SUAVE	MEDIO
PENETRACIÓN	PROFUNDA	PROFUNDA	MEDIANA	POCA	POCA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA	MEDIANA
POLVO DE Fe	0 - 10%	----	0 - 10%	0 - 10%	30 - 50%	----	----	50%	30 - 50%

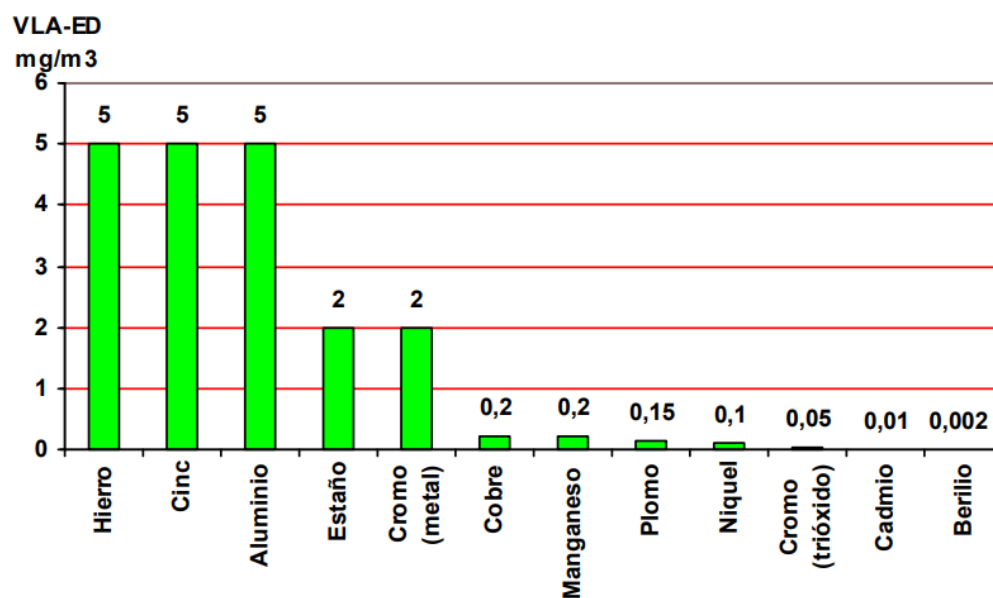
Fuente: El soldador y los humos de soldadura



### Soldadura con electrodos revestidos

Aquí vemos como el soldador está expuesto a los humos contaminantes de la soldadura los cuales a la larga van ocasionar enfermedades irreversibles que afecten a su salud y en el recuadro siguiente donde se encuentran los posibles elementos que ocasionan la contaminación.

### Limite de exposición profesional de algunos humos metálicos de soldadura

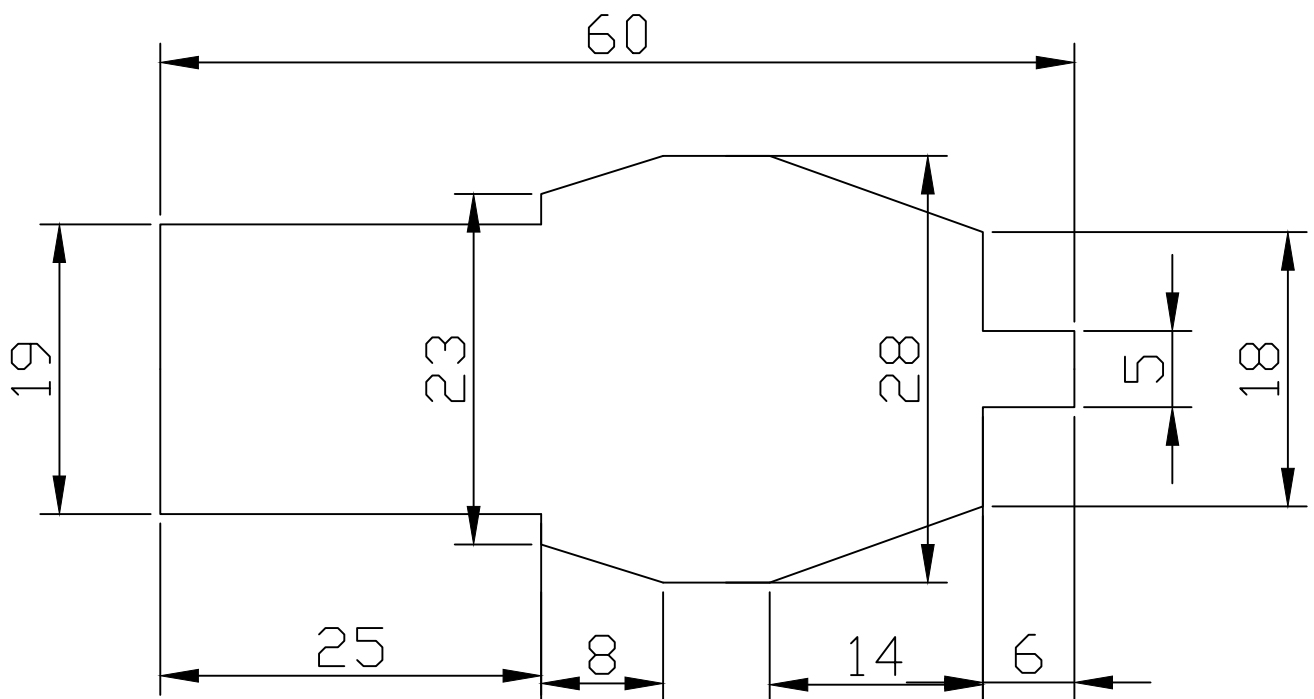


→ A mayor Toxicidad del contaminante, menor valor VLA. →









UNIDADES mm		FECHA	FIRMA	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	
	DIBUJADO	E. Rico M.			
	REVISADO	F. DAVILA H.			
ESCALA 2:1	TEMA HERRAMIENTA PIN - HOMBRO				Nº DE PLANO 1